

DIN ISO 20816-5

ICS 17.160; 29.160.40

Ersatz für
DIN ISO 7919-5:2005-10**Mechanische Schwingungen –
Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen –
Teil 5: Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpspeichieranlagen
(ISO 20816-5:2018)**

Mechanical vibration –

Measurement and evaluation of machine vibration –

Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants
(ISO 20816-5:2018)

Vibrations mécaniques –

Mesurage et évaluation des vibrations des machines –

Partie 5: Groupes de machines équipant des centrales hydroélectriques et des stations de
pompage et de stockage (ISO 20816-5:2018)

Gesamtumfang 62 Seiten

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

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
4 Maschinenanordnung	10
5 Messverfahren und -bedingungen.....	15
5.1 Allgemeines	15
5.1.1 Messungen der Lagergehäuseschwingungen	15
5.1.2 Messungen der Wellenschwingungen.....	15
5.2 Arten von Messungen.....	15
5.2.1 Absolute Schwingungen des Lagergehäuses	15
5.2.2 Radiale Wellenschwingungen.....	16
5.2.3 Lager- und Wellenschwingungen in Axialrichtung	17
5.2.4 Störeinflüsse.....	17
5.3 Messpunkte und Messrichtungen.....	17
5.3.1 Allgemeines	17
5.3.2 Messung der relativen Wellenschwingungen	19
5.3.3 Messung der absoluten Lagergehäuseschwingungen	19
5.4 Messgeräte	20
5.4.1 Allgemeines	20
5.4.2 Messung der absoluten Lagergehäuseschwingungen	21
5.4.3 Messung der Wellenschwingungen.....	23
5.4.4 Messung von $s_{\max}$ oder s_{p-p}	23
5.5 Betriebsbedingungen.....	25
6 Bewertung der Schwingungsmesswerte	25
6.1 Allgemeines	25
6.1.1 Grundlage der Schwingungswerte	25
6.1.2 Auswirkung der Betriebsbedingungen der Turbine auf die Schwingungsmessungen des Lagergehäuses	26
6.1.3 Auswirkung der Betriebsbedingungen der Turbine auf die Wellenschwingungen	26
6.1.4 Betriebsbedingungen der Pumpe.....	27
6.1.5 Besondere Betriebszustände	27
6.2 Kriterium I: Schwingungsgröße	27
6.3 Kriterium II: Änderung der Größe und der Phase der Schwingungen.....	29
6.3.1 Bewertungskriterien.....	29
6.3.2 Voraussetzungen für die Überwachung	30
6.3.3 Besondere Empfehlung hinsichtlich des Generators	30

6.4	Grenzwerte für den Betrieb.....	30
6.4.1	Alarm und Abschaltung.....	30
6.4.2	Festlegung von Alarmwerten.....	31
6.4.3	Festlegung von Abschaltwerten.....	31
6.4.4	Besondere Betriebszustände.....	31
6.5	Vergleich der Ergebnisse für Wellenschwingungen und Lagergehäuseschwingungen.....	31
6.6	Beurteilung auf der Basis von Informationen über Schwingungsvektoren	32
Anhang A (normativ) Grenzen der Bewertungszonen.....		33
Anhang B (informativ) Schwingungsüberwachung – Voraussetzungen für die Trendanalyse		42
Anhang C (informativ) Besonderheiten der Lagergehäuseschwingungen und Wellenschwingungen von Wasserkraftmaschinensätzen.....		47
Anhang D (informativ) Datenbank, Analysierverfahren und statistische Auswertung		50
Anhang E (informativ) Empfohlenes Vorgehen bei der Verarbeitung von Schwingungsdaten		55
Literaturhinweise.....		61

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 20816-5:2018 ist vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“, Unterkomitee SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) geführt wird, in Zusammenarbeit mit dem IEC/TC 4 „Hydraulic turbines“ erarbeitet worden.

Die deutsche Mitarbeit erfolgte durch den Ausschuss NA 001-03-03 AA (NALS/VDI C 3) „Messung und Beurteilung von Maschinenschwingungen“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

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

ISO 2954	siehe	DIN ISO 2954
ISO 5348	siehe	DIN ISO 5348
ISO 7919-3	siehe	DIN ISO 7919-3
ISO 10816-3	siehe	DIN ISO 10816-3
ISO 10816-7	siehe	DIN ISO 10816-7
ISO 10817-1	siehe	DIN ISO 10817-1
ISO 20816-1	siehe	DIN ISO 20816-1
ISO 21940-11	siehe	DIN ISO 21940-11
IEC 60034-14	siehe	DIN EN 60034-14 (VDE 0530-14)

Die Deutschen Normen sind in Anhang NA aufgeführt.

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

- *Part 1: General guidelines* ^{1*)}
- *Part 2: Land-based gas turbines, steam turbines and generators in excess of 40 MW, with fluid-film bearings and rated speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min* ^{2*)}
- *Part 4: Gas turbines in excess of 3 MW, with fluid-film bearings* ^{3*)}
- *Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants* ^{4*)}
- *Part 8: Reciprocating compressor systems* ^{5*)}

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

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

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

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

5*) Zusammenfassung von ISO 10816-8:2014 und ISO 10816-8:2014/DAM1:2017

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 7919-5:2005-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Unterscheidung nach Maschinenarten und der Wellenausrichtung;
- b) revidierte Schwingungswerte aufgrund einer statistischen Auswertung aktueller Messwerte;
- c) Betrachtung sowohl von Wellenschwingungen als auch von Lagergehäuseschwingungen im Zusammenspiel mit anderen Maschinenparametern;
- d) zitierte Normen aktualisiert.

Frühere Ausgaben

DIN ISO 7919-5: 2005-10

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DIN ISO 20816-1, *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⁻¹, 1 800 min⁻¹, 3 000 min⁻¹ und 3 600 min⁻¹*

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

DIN ISO 20816-8, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 8: Hubkolbenkompressoren*

DIN ISO 21940-11, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 11: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit starrem Verhalten*

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

DIN ISO 21940-14, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 14: Verfahren zur Ermittlung von Abweichungen beim Auswuchten*

Vorwort

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

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

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

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

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, Unterkomitee SC 2 *Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures* gemeinsam mit dem Technischen Komitee IEC/TC 4 *Hydraulic turbines* erarbeitet. Der Entwurf wurde an die nationalen Normungsinstitute sowohl der ISO als auch der IEC zur Abstimmung verteilt.

Diese erste Ausgabe von ISO 20816-5 ersetzt ISO 7919-5:2005 und ISO 10816-5:2000, die inhaltlich überarbeitet wurden. Die wesentlichen Änderungen sind:

- Die Schwingungen werden klar unterschieden nach den verschiedenen Maschinenarten und unterschiedlichen Wellenausrichtungen.
- Es wird gezeigt, dass die Schwingungen für jede Maschinenart einer ähnlichen statistischen Verteilung folgen (Burr-Verteilung), woraus sich revidierte Schwingungswerte ergaben.
- Es wird dringend geraten, sowohl die Wellenschwingungen als auch die Gehäuseschwingungen im Zusammenspiel mit Maschinenparametern, wie der Temperatur der Lagerschalen und dem Lagerspiel, zu betrachten, um eine umfassende Beurteilung des Maschinenzustands zu treffen.
- Es wird empfohlen, dass Lieferant und Abnehmer bei der Untersuchung solcher Fälle, in denen die Schwingungen höher als die statistischen Werte sind, gemeinsam vorgehen anstatt Entscheidungen einzig aufgrund der Schwingungswerte zu treffen.

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

Einleitung

ISO 20816-1 ist die Grundnorm, die die allgemeinen Anforderungen an die Bewertung der Schwingungen von Maschinen verschiedener Art festlegt. Das vorliegende Dokument enthält maschinenspezifische Anleitungen für Gehäuse- und Wellenschwingungen von Maschinensätzen, die in Wasserkraft- und Pumpspeichieranlagen installiert sind.

Zur Beurteilung der Maschinenschwingungen sind zwei Kriterien angegeben:

- a) das erste Kriterium betrachtet die Größe der gemessenen Schwingungen;
- b) das zweite Kriterium betrachtet Änderungen der Größe und Phase der gemessenen Schwingungen.

Dieses Dokument behandelt die Analyse sowohl von Wellenschwingungen als auch von Schwingungen feststehender, d. h. nicht-rotierender Bauteile.

Schwingungskriterien wurden für Maschinen mit horizontaler Achse und solche mit vertikaler Achse abgeleitet und für jede Turbinenart (Rohrturbine, Francis, Pelton, Kaplan) sowohl für den Betrieb zur Stromerzeugung als auch, soweit zutreffend, für den Pumpbetrieb entwickelt. Die in diesem Dokument angegebenen Kriterien für die Größe der Schwingungen sind Richtwerte, die auf statistischen Auswertungen beruhen; die angegebenen Werte sollten nicht als Garantiewerte verwendet werden. Es wird empfohlen, dass die Beurteilung der Schwingungen durch einen Schwingungsexperten erfolgt, der mit Zustimmung aller beteiligten Parteien ausgewählt wird. Um herauszufinden, ob das Schwingungsverhalten einer Wasserkraftmaschine gut ist, ist es wesentlich, die folgenden Aspekte gemeinsam zu betrachten:

- die Größe der relativen Wellenschwingungen;
- die Größe der Lagergehäuseschwingungen;
- den prozentualen Anteil des in Anspruch genommenen Durchmesserspiels der Führungslager im kalten Zustand;
- die Betriebstemperatur der metallenen Teile der Führungslager;
- die Betriebsparameter (Fallhöhe und Durchfluss oder Fallhöhe und Leistung), um sich zu vergewissern, dass die Maschine im üblichen Arbeitsbereich läuft.

Ergänzend werden für solche Fälle Handlungsempfehlungen gegeben, in denen die Schwingungswerte über den in den Tabellen von Anhang A angegebenen Maßnahmenstufen liegen, um zu entscheiden, ob die Maschine für den uneingeschränkten Langzeitbetrieb geeignet ist.

Es werden Anleitungen sowohl für die beim Maschinenbetrieb vorhandenen Schwingungen als auch für möglicherweise auftretende Änderungen in der Amplitude oder Phase dieser Schwingungen gegeben. Die in Anhang A für die Schwingungen angegebenen Werte haben den Zweck, als Grundlage für die Bewertung des Maschinenzustands und, sofern erforderlich, für weitergehende Untersuchungen zu dienen. In diesem Dokument wird empfohlen, dass der Maschinenzustand unter Zugrundelegung sowohl der Lagergehäuseschwingungen als auch der Wellenschwingungen beurteilt wird.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Anleitungen für die Bewertung der Schwingungen von Lagern, Lagerböcken oder Lagergehäusen sowie für die Bewertung der relativen Wellenschwingungen, die an Maschinensätzen in Wasserkraft- und Pumpspeichieranlagen unter üblichen Betriebsbedingungen gemessen werden. Die üblichen Arbeitsbereiche für alle Turbinenarten, die in diesem Dokument behandelt werden, sind in Anhang A festgelegt.

Dieses Dokument gilt für Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpspeichieranlagen, bei denen typischerweise Drehzahlen zwischen 60 min^{-1} und $1\,000 \text{ min}^{-1}$ erreicht werden, und bei denen ölgeschmierte Schalenlager oder Segmentlager verbaut sind.

ANMERKUNG Die derzeitige Datenbank umfasst Maschinendrehzahlen von 60 min^{-1} bis 750 min^{-1} (mit einer sehr kleinen Stichprobe von Maschinen mit $1\,000 \text{ min}^{-1}$).

Dieses Dokument legt je nach Art der Turbine, der Ausrichtung der Welle (d. h. horizontal oder vertikal) und für jede Lagerposition verschiedene Grenzwerte von Lagergehäuse- und Wellenschwingungen fest.

Dieses Dokument basiert auf einer statistischen Analyse und stellt Kriterien für die häufigsten Turbinenarten, Pump-Turbinen und Pumpen bereit. Für spezifische Informationen darüber, welche Arten von Maschineneinheiten in diesem Dokument behandelt werden, siehe Anhang A.

Maschinensätze, für die dieses Dokument gilt, können folgende Konfigurationen haben:

- a) von Wasserturbinen angetriebene Generatoren;
- b) von Pump-Turbinen angetriebene Motorgeneratoren;
- c) von Wasserturbinen und separaten Pumpen angetriebene Motorgeneratoren;
- d) von Elektromotoren angetriebene Pumpen.

Dieses Dokument gilt nicht für die folgenden Konfigurationen von Maschineneinheiten, Messgrößen und Betriebsbedingungen:

- Wasserkraftmaschinen mit wassergeschmierten Lagern;
- Wasserkraftmaschinen oder Maschinensätze mit Wälzlagern (für diese Maschinen gilt IEC 62006 und/oder ISO 10816-3);
- Pumpen in Wärmekraftanlagen oder für den industriellen Einsatz (für diese Maschinen gilt ISO 10816-7);
- elektrische Maschinen, die als Motoren betrieben werden, außer diese Maschinen werden in Pumpspeichieranwendungen verwendet;
- Wasserkraftgeneratoren, die als Synchronkondensator betrieben werden (wobei das Wasser in der Turbine durch Druckluft komprimiert wird);
- Bewertung des absoluten Schwingwegs der Lagergehäuse;
- Bewertung der axialen Schwingungen;
- Bewertung von Übergangszuständen;
- nicht synchroner Betrieb;
- Bewertung der Schwingungen des Statorkerns oder Statorgehäuses des Generators.

Messungen der in Maschinensätzen in Wasserkraft- und Pumpspeicheranlagen auftretenden Lagergehäuse- und Wellenschwingungen können für die folgenden Zwecke verwendet werden:

- 1) Zweck A: zur Vorbeugung von Schäden aufgrund übermäßiger Schwingungswerte;
- 2) Zweck B: zur Überwachung von Veränderungen des Schwingungsverhaltens, um eine Diagnose oder Prognose zu ermöglichen.

Die Kriterien gelten für die vom Maschinensatz selbst verursachten Schwingungen. Eine besondere Untersuchung wird für Schwingungen benötigt, die von externen Quellen auf die Maschine übertragen werden, z. B. diejenigen, die über das Stationsfundament auf den Maschinensatz übertragen werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

IEC 60994, *Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)*

3 Begriffe

Es werden keine Begriffe in diesem Dokument angegeben.

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

- ISO Online Browsing Platform: unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

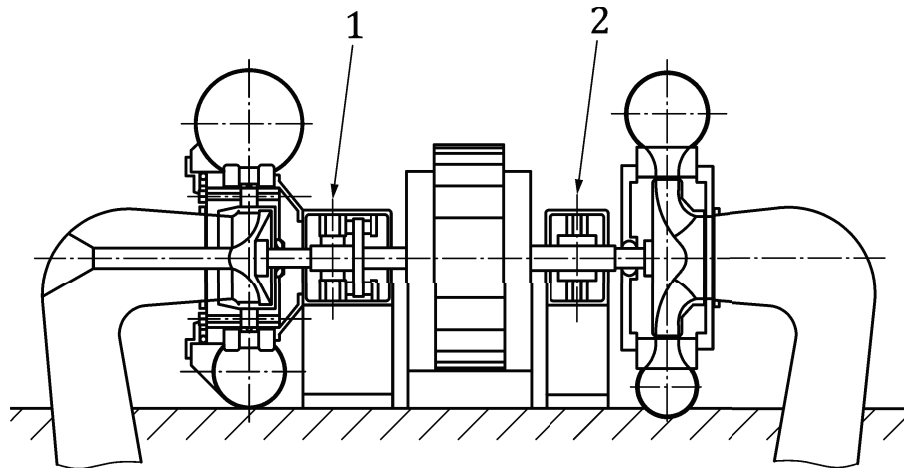
4 Maschinenanordnung

Die große Vielzahl an Anordnungsmöglichkeiten von Wasserkraftmaschinensätzen bedeutet, dass unter Berücksichtigung der Lageranordnung und der Stellen, an denen Schwingungsmessungen vorgenommen werden sollten, eine Aufteilung in vier Hauptgruppen sinnvoll ist. Diese vier Hauptgruppen sind folgende:

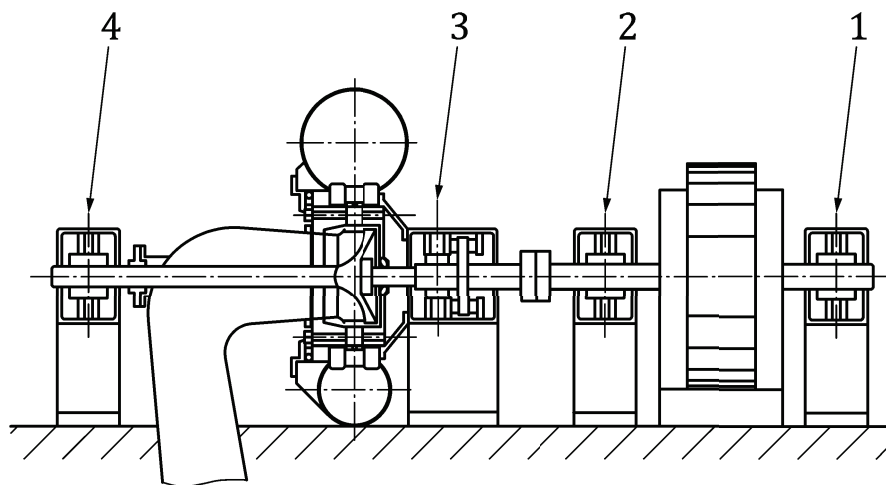
- **Gruppe 1:** Horizontale Maschinensätze, bei denen der Generator mit Schild- oder Stehlagern auf einem starren Fundament ruht.
- **Gruppe 2:** Horizontale Maschinensätze, bei denen die Lagergehäuse gegen das Gehäuse der Wasserkraftmaschine verspannt sind.
- **Gruppe 3:** Vertikale Maschinensätze, bei denen alle Lagergehäuse von den Stationsfundamenten abgestützt werden.
- **Gruppe 4:** Vertikale Maschinensätze, bei denen das untere Lagergehäuse von den Stationsfundamenten und das obere Lagergehäuse vom Statorgehäuse des Generators abgestützt wird.

Die Bilder 1 bis 5 zeigen Beispiele für jede Gruppe. Die Ziffern in jedem Bild geben geeignete Stellen für die Anbringung der Schwingungsaufnehmer an, die für die Messung der Schwingungen verwendet werden.

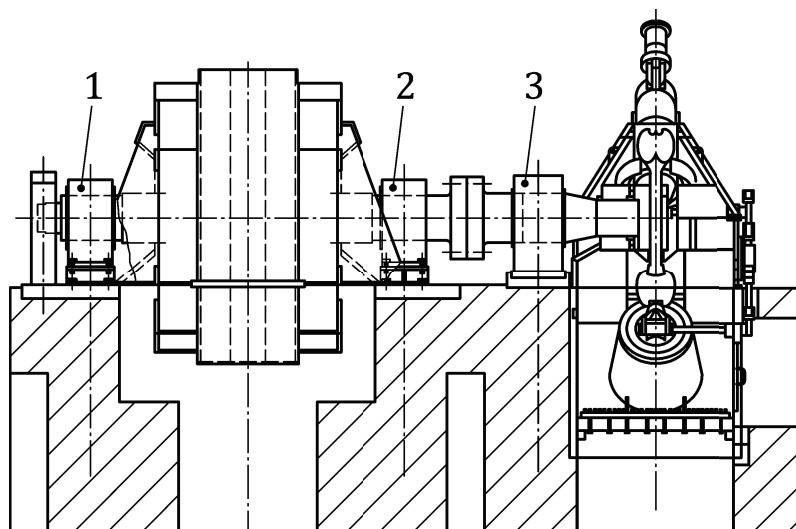
Die Schwingungsaufnehmer sollten an den Lagern an den in den Bildern 6 und 7 angegebenen Stellen angebracht werden.



a) Zwei-Lager-Satz mit Motorgenerator und separater Pumpe und Turbine



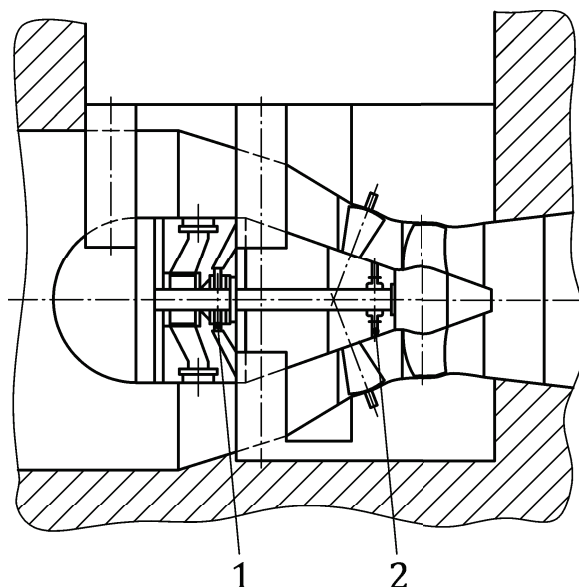
b) Vier-Lager-Satz mit von einer Francis-Turbine angetriebenem Generator



c) Drei-Lager-Satz mit von einer Pelton-Turbine angetriebenem Generator

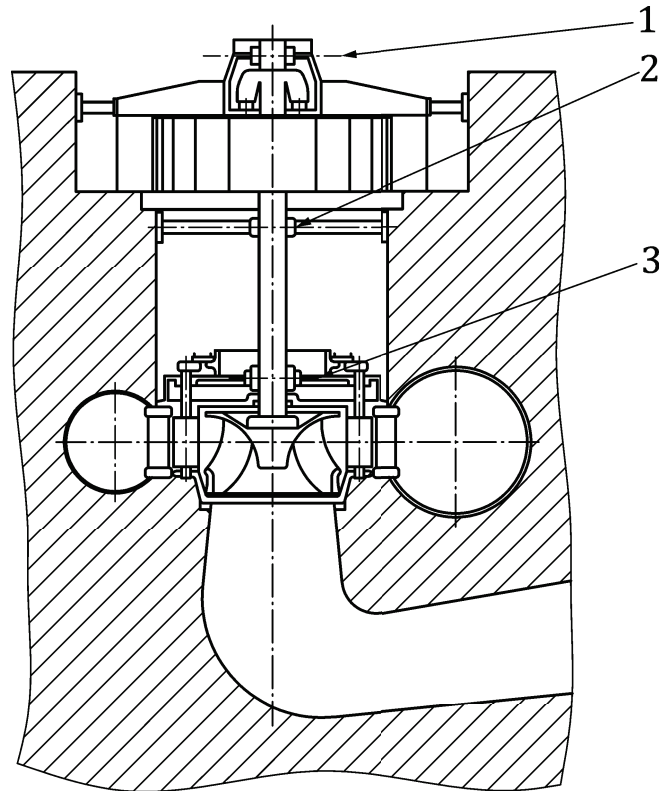
ANMERKUNG Die Zahlen geben geeignete Positionen für die Schwingungsaufnehmer an.

Bild 1 — Gruppe 1: Horizontale Maschinensätze mit Steh- oder Schildlagern auf einem starren Fundament



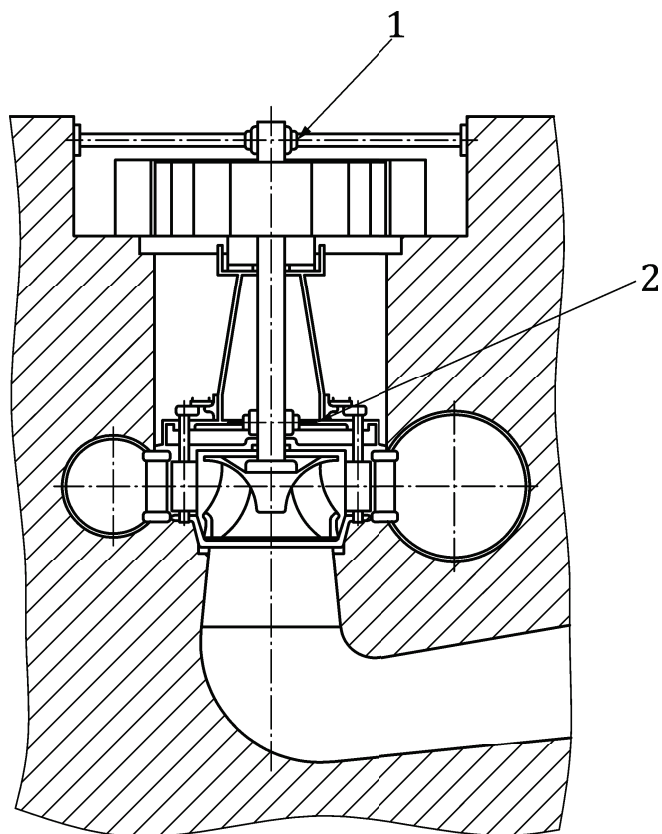
ANMERKUNG Die Zahlen geben geeignete Positionen für die Schwingungsaufnehmer an.

Bild 2 — Gruppe 2: Horizontale Maschinen, bei denen die Lager gegen das Gehäuse der Wasserkraftmaschine verspannt sind



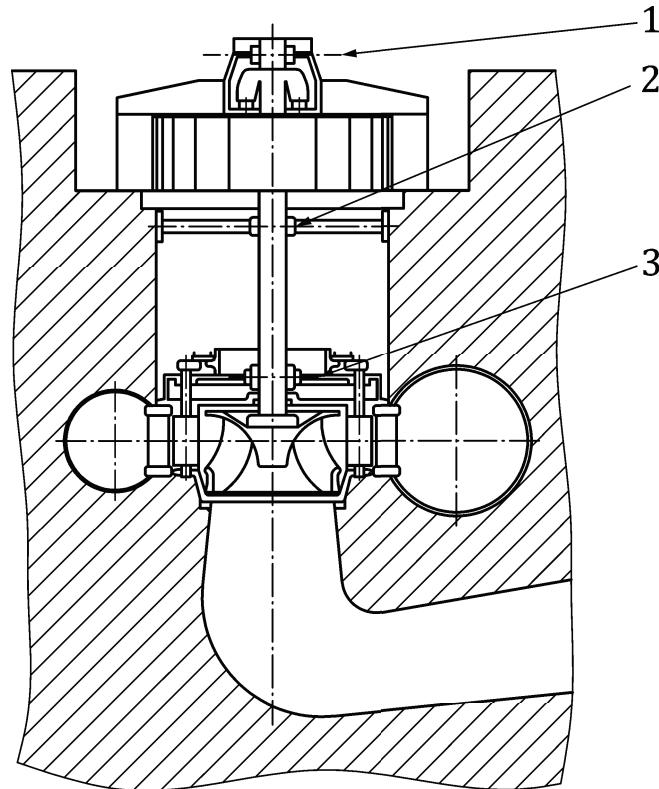
ANMERKUNG Die Zahlen geben geeignete Positionen für die Schwingungsaufnehmer an.

Bild 3 — Gruppe 3: Vertikale Maschinensätze, bei denen alle Lagergehäuse gegen die Stationsfundamente und/oder die Betongrube um den Generator herum verspannt sind (Vertikallast über den Statorrahmen des Generators abgetragen)



ANMERKUNG Die Zahlen geben geeignete Positionen für die Schwingungsaufnehmer an.

Bild 4 — Gruppe 3: Anderes Beispiel für vertikale Maschinensätze, bei denen alle Lagergehäuse gegen die Stationsfundamente und/oder die Betongrube um den Generator herum verspannt sind (Vertikallast über die Abdeckung abgetragen)



ANMERKUNG Die Zahlen geben geeignete Positionen für die Schwingungsaufnehmer an.

Bild 5 — Gruppe 4: Vertikale Maschinensätze, bei denen das untere Lagergehäuse des Generators gegen das Stationsfundament verspannt ist und das obere Lagergehäuse des Generators vom Statorgehäuse des Generators abgestützt wird

5 Messverfahren und -bedingungen

5.1 Allgemeines

5.1.1 Messungen der Lagergehäuseschwingungen

ISO 20816-1 enthält allgemeine Richtlinien, die bei der Messung von Lagergehäuseschwingungen beachtet werden müssen. IEC 60994 stellt Hinweise zur Messung von Schwingungen vor Ort bereit. ISO 2954 spezifiziert die Messgeräte, die verwendet werden sollten. ISO 5348 enthält Hinweise für die Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern. Weitere Empfehlungen werden in 5.2 bis 5.5 ausgesprochen.

5.1.2 Messungen der Wellenschwingungen

ISO 20816-1 und IEC 60994 beschreiben die Messverfahren, die angewandt werden müssen. ISO 10817-1 spezifiziert die Messgeräte, die verwendet werden sollten. Weitere Empfehlungen werden in 5.2 bis 5.5 ausgesprochen.

5.2 Arten von Messungen

5.2.1 Absolute Schwingungen des Lagergehäuses

An Wasserkraftmaschinensätzen werden Messungen der absoluten Schwingungen am Lagergehäuse üblicherweise mit Hilfe von seismischen Schwingungsaufnehmern (elektrodynamische Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer oder piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer mit Integration) vorgenommen, um den Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit v_{rms} in mm/s zu messen.

5.2.2 Radiale Wellenschwingungen

5.2.2.1 Allgemeines

An Wasserkraftmaschinensätzen werden Messungen der relativen und absoluten Wellenschwingungen mit Hilfe von berührungslos wirkenden Aufnehmern vorgenommen, um den Spitze-Spitze-Wellenausschlag S_{p-p} in μm zu messen. Auf der Welle gleitende seismische Aufnehmer (Gleitschuh-Vorrichtungen) können nicht in jedem Fall benutzt werden, da bei langsam laufenden Wasserkraftmaschinen der für Messungen erforderliche Frequenzbereich bis zu sehr tiefen Frequenzen reichen muss.

S_{max} wird bei Wellenschwingungsmessungen nicht empfohlen, siehe 5.4.4.

5.2.2.2 Messungen der relativen Wellenschwingungen

Bei relativen Messungen ist es üblich, die Aufnehmer an den Lagergehäusen so nahe wie möglich an den Führungslagern anzubringen. Sie können dann direkt an den Lagerzapfen oder alternativ auf speziellen (d. h. polierten) Messflächen an der Welle Messwerte erfassen, die so vorbereitet wurden, dass die gesamte elektrische und mechanische Rundlaufabweichung (Runout) begrenzt wird. Im Falle von Segment-Führungslagern können die Aufnehmer mit Hilfe des Führungslagergehäuses als Stütze oder direkt auf den Segmenten zwischen den Lagersegmenten montiert werden, aber diese zwei letzteren Verfahren werden weniger häufig angewandt.

Es sollte stets darauf geachtet werden, dass sichergestellt wird, dass die Abstützung für die Wellenschwingungsaufnehmer sehr starr ist. Wenn dies nicht der Fall ist, wird das Messsignal für die Relativbewegung zwischen der Welle und dem Lagergehäuse nicht repräsentativ sein. Diese Anforderung kann durch eine statische Untersuchung der Struktur oder eine Verifizierung der Eigenfrequenz der Abstützung der Schwingungsaufnehmer mithilfe einer Stoßprüfung bewertet werden. Die niedrigste radiale Eigenfrequenz der Montagestruktur des Schwingungsaufnehmers sollte mindestens 10-mal größer als die synchrone Drehfrequenz sein, um die Möglichkeit einer Resonanz der Abstützung zu vermeiden. Wenn es Anzeichen einer Resonanz in der Stützstruktur gibt, auf der der Schwingungsaufnehmer montiert ist, müssen die Auswirkungen vor der Messung von Signalen eliminiert werden. Zusätzlich sollte die niedrigste radiale Eigenfrequenz der Struktur oder des Lagergehäuses, auf dem der Aufnehmer zu montieren ist, mindestens das 10-Fache der synchronen Drehfrequenz betragen.

Es sollte Vorsicht walten gelassen werden, um die vom Aufnehmerhersteller ggf. angegebenen Spezifikationen bzgl. des Einhaltens eines Freiraums um den Aufnehmer herum einzuhalten, damit magnetische Störungen vermieden werden. Es sollte außerdem beim Einrichten des Abstands zwischen dem Aufnehmer und der Welle darauf geachtet werden, dass dieser mit Sicherheit größer als das doppelte maximale Radialspiel ist, um Schäden am Aufnehmer zu vermeiden. Wenn elektrische Leitungen nah unter der Oberfläche in der Welle verlegt sind, kann das aufgrund des magnetischen Streufelds Auswirkung auf induktive Aufnehmer haben.

Es ist wichtig, dass die Wellenoberfläche an den Schwingungsmessstellen keine Makel, Kratzer, Dellen oder andere Oberflächendefekte aufweist. Es ist üblich, dass die Wellenmessfläche für den Einsatz der Wellenschwingungsaufnehmer besonders bearbeitet wird, um die kombinierte elektrische und mechanische Rundlaufabweichung auf einen sehr geringen Wert zu begrenzen. Idealerweise sollte die Wellenmessfläche für Schwingungsmessungen gleichzeitig mit den Lagerzapfen bearbeitet werden.

5.2.2.3 Messungen der absoluten Wellenschwingungen

Der absolute Schwingweg S_{p-p} kann direkt mit Hilfe von Schwingwegaufnehmern gemessen werden, wenn eine starre Abstützung für die Aufnehmer hergestellt werden kann, z. B. eine steife Stahlstützstruktur, die an der Turbine oder der Generatorgrubenwand montiert wird. Messungen der absoluten Wellenschwingungen sind nicht üblich, da die Anforderung zur Bereitstellung einer starren Stützstruktur zur Montage der Aufnehmer schwer zu erfüllen ist.

Eine andere Möglichkeit ist die Durchführung einer Vektorsummierung der relativen Wellenschwingungen mit Hilfe von berührungslos wirkenden Aufnehmern und den absoluten Schwingungen des Stützrahmens mit Hilfe seismischer Aufnehmer. Wenn das zu tun ist, sollten die seismischen Aufnehmer auf dem Stützrahmen so nahe wie möglich an den Wellenschwingungsaufnehmern installiert werden, sodass beide Aufnehmer in derselben radialen Richtung messen. Eine Berechnung mit Integration und Berücksichtigung der Amplitude und Phase der Schwingungssignale kann dann durchgeführt werden, um die Größe der absoluten Wellenschwingungen zu bestimmen. Bei sehr niedrigen Frequenzen (unter 60 min^{-1}) wird die Stabilität der doppelt integrierten Signale von den seismischen Aufnehmern ein Problem.

5.2.3 Lager- und Wellenschwingungen in Axialrichtung

Zu Diagnosezwecken oder bei der Überwachung von Änderungen und für die mechanische Beurteilung ist es nützlich oder manchmal sogar notwendig, axiale Messungen vorzunehmen. Diese Messungen können entweder relative Wellenausschläge oder die Schwingungen des Axiallagergehäuses oder beides sein.

Die axialen Schwingungen des Axiallagers entsprechen im Allgemeinen der axialen Wirkung der Strömungsdruckpulsationen der Turbine, die die lasttragenden Oberflächen des Axiallagers beschädigen können.

Es ist jedoch nicht üblich, während der kontinuierlichen Betriebsüberwachung an den Haupt-Traglagern Axialschwingungen zu messen. Solche Messungen werden vorwiegend bei der periodischen Schwingungsüberwachung oder zu Diagnosezwecken ausgeführt.

In diesem Dokument sind derzeit keine Kriterien für die Bewertung der axialen Wellenschwingungen angegeben, da ein Mangel an verfügbaren Messdaten vorliegt.

5.2.4 Störeinflüsse

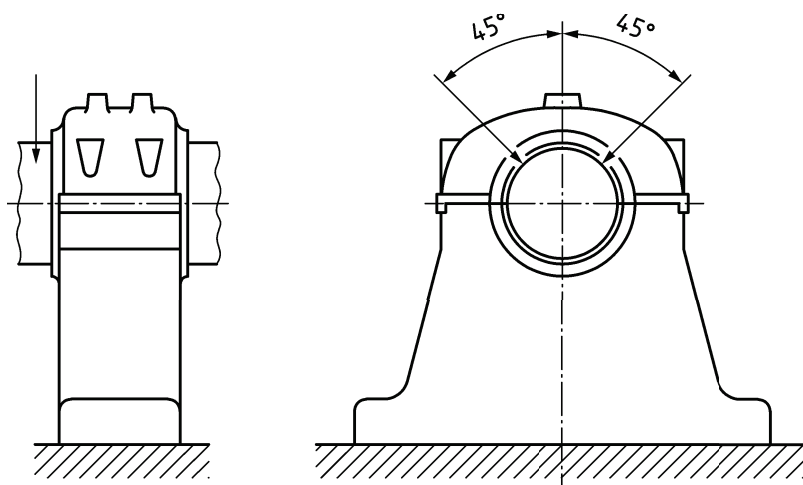
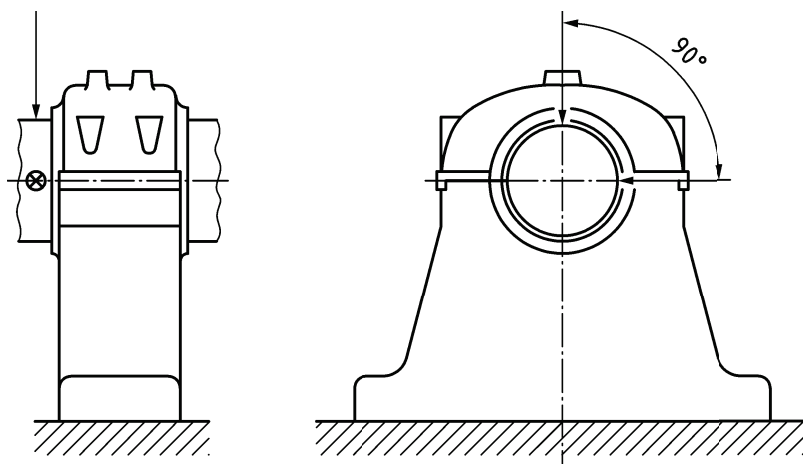
Sowohl die Wellenschwingungen als auch die Lagergehäuseschwingungen können durch die Schwingungen der Lagerständerstruktur beeinflusst werden. Das untere Lagergehäuse von Generatoren bei vertikalen Maschinen kann durch die Schwingungen, die von der Turbinenabdeckung übertragen werden, beeinträchtigt werden, wenn ein Stützkegel oder ein Stützzylinder verwendet wird. Generatorlager, die auf in den Fundamentbeton eingelassenen Sohlen abgestützt sind, können vereinzelt durch Kräfte der Turbine beeinträchtigt werden, die von den Fundamenten übertragen werden.

Maschinensätze mit Francis-Turbinen (vereinzelt auch Kaplan-Turbinen) können an den Lagergehäusen höhere Schwingungswerte aufweisen, wenn Anregungen aus dem Fallrohr vorliegen (z. B. Fallrohrwirbel, Kavitation, Strömungswirbel, Durchflussinstabilität, Strömungsabriss). Die Erfahrung zeigt, dass diese Anregungen auch unter üblichen Betriebsbedingungen auftreten können. Wenn angenommen wird, dass Anregungen aus dem Fallrohr auftreten, sollten von einem Schwingungsexperten zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden.

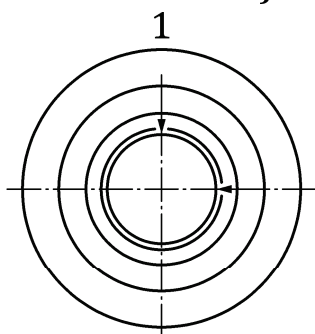
5.3 Messpunkte und Messrichtungen

5.3.1 Allgemeines

Typische Positionen für die Messung von Schwingungen von Wasserkraftmaschinensätzen sind in den Bildern 1 bis 5 sowie detailliert in den Bildern 6 und 7 gezeigt.

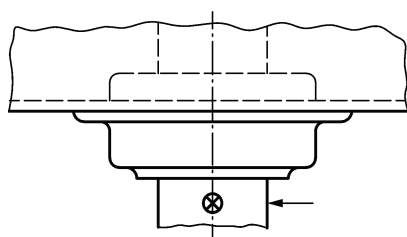


a) an horizontalen Maschinen



Legende

1 Oberwasserseite (von oben gesehen)



b) an vertikalen Maschinen

Bild 6 — Empfohlene Stellen für Wellenschwingungsmessungen

5.3.2 Messung der relativen Wellenschwingungen

Für sämtliche Maschinen sollten die Schwingungsmessungen in einem Abstand von jeweils 90° vorgenommen werden. Der Ort und die Ausrichtung der Schwingungsaufnehmer sollten so gewählt werden, dass die Höchstwerte der Schwingungen erfasst werden.

Bei horizontalen Maschinen sollten die Schwingungsaufnehmer horizontal und vertikal platziert werden, da wichtige Informationen erhalten werden können, wenn die Aufnehmer in den zwei Hauptsteifigkeitsrichtungen der Lagergehäuseabstützungen montiert sind, d. h. in horizontaler und vertikaler Richtung.

Alternativ dürfen die Aufnehmer, wie in Bild 6 a) gezeigt, $\pm 45^\circ$ von der Vertikalen entfernt platziert werden, wobei die Aufnehmer weiterhin 90° voneinander entfernt sind.

Bei vertikalen Maschinen sollten die Aufnehmer an jedem Führungslager wie folgt angeordnet werden: Der eine Aufnehmer sollte auf der Oberwasserseite und der andere 90° zur Oberwasserseite platziert werden (von oben gesehen im Uhrzeigersinn unabhängig von der Drehrichtung), siehe Bild 6 b). Die auf den oberen und unteren Lagern montierten Aufnehmer sollten vertikal übereinander angeordnet werden.

5.3.3 Messung der absoluten Lagergehäuseschwingungen

Bei horizontalen Maschinen sollten radiale Messungen idealerweise, wie in Bild 7 a) gezeigt, in vertikaler und horizontaler Richtung und, wenn möglich, auf dem Lager vorgenommen werden, das Axiallasten in Axialrichtung, d. h. parallel zur Wellenachse aufnimmt. Wichtige Informationen können aus den Messungen der Lagergehäuseschwingungen gewonnen werden, wenn in den Haupt-Steifigkeitsrichtungen gemessen wird. Das ist nicht möglich, wenn die Lagerschwingungsmessungen in $\pm 45^\circ$ -Richtungen ausgeführt werden.

Bei Maschinen mit niedriger Drehzahl und horizontaler Wellenachse, wie beispielsweise den in Bild 2 dargestellten Rohrturbinen, müssen die Messpunkte und -richtungen aufgrund der Flexibilität der Stützstruktur mit großer Vorsicht bestimmt werden.

Bei vertikalen Maschinen sollten die Aufnehmer an jedem Führungslager wie folgt angeordnet werden: Der eine Aufnehmer sollte auf der Oberwasserseite und der andere 90° zur Oberwasserseite platziert werden (von oben gesehen im Uhrzeigersinn unabhängig von der Drehrichtung), siehe Bild 7 b). Wenn möglich sollten die Aufnehmer an jedem Führungslager auf oder so nahe wie möglich am Lagergehäuse montiert und so angeordnet werden, dass sie sich vertikal übereinander befinden, d. h. in derselben vertikalen Ebene. Wenn sowohl Gehäuseschwingungsaufnehmer als auch Wellenschwingungsaufnehmer eingesetzt werden, sollten sie so nahe wie möglich aneinander montiert werden, um die Analyse des Schwingungsverhaltens der Maschine zu vereinfachen.

Bild 7 stellt die Stellen für die Schwingungsaufnehmer an den Lagergehäusen detailliert dar.