

DIN ISO 13373-9

ICS 17.160; 29.160.30

Einsprüche bis 2015-07-29

Entwurf

**Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen –
Schwingungs-Zustandsüberwachung –
Teil 9: Diagnoseverfahren für Elektromotoren (ISO/DIS 13373-9:2015);
Text Deutsch und Englisch**

Condition monitoring and diagnostics of machines –
Vibration condition monitoring –
Part 9: Diagnostic techniques for electric motors (ISO/DIS 13373-9:2015);
Text in German and English

Surveillance et diagnostic d'état des machines –
Surveillance des vibrations –
Partie 9: Techniques de diagnostic pour moteurs électriques (ISO/DIS 13373-9:2015);
Texte en allemande et anglaise

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-05-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

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

Gesamtumfang 60 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Messungen	8
4.1 Schwingungsmessungen	8
4.2 Messungen der Betriebsparameter der Maschine	8
5 Erstanalyse	9
6 Motorspezifische Analyse	9
Anhang A (normativ) Systematische Vorgehensweise zur Schwingungsanalyse bei Elektromotoren	10
Anhang B (informativ) Vorgehensweise zur Schwingungsdiagnose von Fehlern bei Elektromotoren	16
Anhang C (informativ) Beispiele von Schwingungsproblemen bei Elektromotoren	23
Anhang D (informativ) Verwendung von modellgestützten Spannungs- und Stromsystemen, um Fehler im Schwingungsverhalten von Motoren ohne Beschleunigungsaufnehmer zu erkennen und zu analysieren	29
Literaturhinweise	32

Nationales Vorwort

Der internationale Norm-Entwurf ISO/DIS 13373-9:2015 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 vom DIN geführt wird, erarbeitet worden. Die deutsche Mitarbeit erfolgt durch den Ausschuss NA 001-03-06-05 UA (NALS/VDI C 6.5) „Schwingungsüberwachung“ des Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des ISO/DIS 13373-9 entsprechend der diesbezüglich durch die ISO erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfs gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Da die Bilder im zugrundeliegenden ISO-Entwurf von mäßiger Qualität sind, wurden sie für diesen DIN-ISO-Entwurf neu gezeichnet und die in den Bildern z. T. enthaltenen Textinformationen in einer Legende wiedergegeben. Diese Bilder sollen auch in die zukünftige ISO-Norm übernommen werden.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1925	siehe	DIN ISO 1925
ISO 7919-1	siehe	DIN ISO 7919-1
ISO 10816-1	siehe	DIN ISO 10816-1
ISO 13372	siehe	DIN ISO 17359 Beiblatt 1
Normen der Reihe ISO 13373	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 13373
ISO 17359	siehe	DIN ISO 17359
ISO/TR 19201	siehe	DIN ISO 10816 Beiblatt 1

Die Deutschen Normen sind im nationalen Anhang NA aufgeführt.

ISO 13373 mit dem Titel *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring* besteht aus folgenden Teilen:

- *Part 1: General procedures*
- *Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data*
- *Part 3: Guidelines for vibration diagnosis*
- *Part 7: Diagnostic techniques for machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants*
- *Part 9: Diagnostic techniques for electric motors*

Die folgenden Teile sind in Vorbereitung:

- *Part 4: Diagnostic techniques for steam and gas turbines with fluid-film bearings*

- *Part 5: Diagnostic techniques for fans and blowers*
- *Part 6: Diagnostic techniques for gas turbines with rolling element bearings*
- *Part 8: Diagnostic techniques for industrial pumps*
- *Part 10: Diagnostic techniques for generators*
- *Part 11: Diagnostic techniques for gearboxes*

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 1925, *Mechanische Schwingungen — Auswuchttechnik — Begriffe*

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

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

DIN ISO 10816 Bbl 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 (ISO/TR 19201)*

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

DIN ISO 17359 Bbl 1, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Beiblatt 1: Erläuterungen zu Fachbegriffen*

*) z. Z. Entwurf

Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 9: Diagnoseverfahren für Elektromotoren

Einleitung

Dieser Teil von ISO 13373 wurde als Anleitung für die zu berücksichtigenden Verfahren bei der Durchführung einer Schwingungsdiagnostik an Elektromotoren erarbeitet. Er ist für Personen im Umgang mit der Schwingungstechnik, Ingenieure und Techniker vorgesehen und stellt nützliche Diagnosewerkzeuge bereit. Diese Werkzeuge umfassen diagnostische Flussdiagramme und Prozesstabellen sowie Fehlertabellen. Das in diesem Teil von ISO 13373 enthaltene Material stellt die grundlegenden, logischen und vernünftigen Schritte dar, die unternommen werden sollten, wenn Schwingungsprobleme an diesen bestimmten Maschinentypen diagnostiziert werden.

Die Normenreihen ISO 10816 (für nicht-rotierende Teile) und ISO 7919 (für rotierende Wellen) enthalten zulässige Schwingungen und Zonen für verschiedene Typen und Größen von Maschinen – von neuen und gut laufenden Maschinen bis hin zu Maschinen, die Gefahr laufen, zu versagen.

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-Schwingungssysteme und periodische Schwingungssysteme sowie potentielle Maschinenprobleme.

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

ISO 13373-3 enthält einige Verfahren zur Bestimmung der Ursachen von Schwingungsproblemen, die an allen Arten von rotierenden Maschinen auftreten. Das umfasst systematische Vorgehensweisen zur Beschreibung der Schwingungswirkungen, die verfügbaren Diagnosewerkzeuge, 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 Diagnose-techniken nicht aus.

Es sollte beachtet werden, dass ISO 17359 angibt, dass die Diagnose

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

Dieser Teil von ISO 13373 berücksichtigt nur die erste Variante, nach der eine Diagnose durchgeführt wird, nachdem eine Anomalie erkannt wurde. Darüber hinaus befasst sich dieser Teil von ISO 13373 hauptsächlich mit der Anwendung von Flussdiagrammen, Prozesstabellen und Fehlertabellen als Diagnosewerkzeuge, da davon ausgegangen wird, dass diese Werkzeuge am besten für die Anwendung durch Bediener, Ingenieure und Techniker vor Ort geeignet sind.

Die Vorgehensweise 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 Bediener beim Finden der wahrscheinlichsten Ursache dieser Anomalie bei der Schwingungsdiagnose der 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 falsches Schwingungssignal äußert, sollte die Diagnose des Problems auf gut durchdachte systematische Weise erfolgen. Gemeinsam mit ISO 13373-3 erreicht der vorliegende Teil von ISO 13373 für die analysierende Person diesen Zweck durch Anleitung zur Auswahl der geeigneten Messwerkzeuge, Analysewerkzeuge und ihre Verwendung sowie die empfohlenen schrittweisen Vorgehensweisen zur Problemdiagnose im Zusammenhang mit verschiedenen Typen von Elektromotoren.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 13373 enthält Anleitungen für die zu berücksichtigenden spezifischen Verfahren bei der Schwingungsdiagnose an verschiedenen Typen von Elektromotoren. Die in diesem Teil von ISO 13373 behandelten vier Motorenarten sind Asynchronmotoren mit Käfigläufer, mit Schleifringläufer, Schenkelpol- und Gleichstrommotoren.

ANMERKUNG Die ersten beiden Arten sind in ISO 20958 definiert.

Dieser Teil von ISO 13373 ist für die Anwendung durch Praktiker, Ingenieure und Techniker bei Zustandsüberwachungen vorgesehen und umfasst eine praktische, schrittweise Vorgehensweise zur schwingungsbasierten Fehlerdiagnose. Zusätzlich sind mehrere Beispiele für zahlreiche Maschinen- und Bauteilarten und die entsprechenden Fehlersymptome angegeben.

Die in diesem Teil von ISO 13373 dargestellten Verfahren können in einigen Fällen auf andere Arten elektrischer Maschinen, wie etwa Generatoren, angewendet werden. Im Zusammenhang mit diesen Maschinen können jedoch andere spezifische Techniken erforderlich sein, die in diesem Teil von ISO 13373 nicht angegeben sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 1925, *Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary* ¹⁾

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

ISO 7919-1, *Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements 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*

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

¹⁾ Die neue Nummer nach der Überarbeitung ist ISO 21940-2.

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, presentation and analysis of vibration data*

ISO 13373-3:2015 ^{N1)}, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 3: Guidelines for vibration diagnosis*

ISO 20958, *Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Electrical signature analysis of three-phase induction motors*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 1925, ISO 2041, ISO 13372 und ISO 20958 und die folgenden Begriffe.

3.1

Anker in Gleichstrommotoren

Welle mit einem geschichteten, genuteten Kern mit einer zweilagigen Wicklung, verbunden mit einem Kollektor, der über Bürsten mit Gleichstrom versorgt wird

3.2

Schenkelpolrotor

Welle mit massiven oder geschichteten Polen mit einer Wicklung an jedem Pol

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Polwicklungen sind miteinander verbunden sowie an Schleifringe oder einem bürstenlosen Erreger angeschlossen, die/der den erforderlichen Gleichstrom liefern/liefert.

3.3

Versorgungsfrequenz

Frequenz der Stromversorgung von Wechselstrommotoren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Versorgungsfrequenz wird auch Netzfrequenz genannt.

3.4

Schlupffrequenz

bei Asynchronmotoren der Unterschied zwischen den Frequenzen der synchronen Drehzahl und der Rotor-drehzahl

3.5

Anzahl der Statorpole

Zahl, die durch die folgende Gleichung festgelegt ist

$$\frac{2 n_{\text{syn}}}{60 f_{\text{supp}}}$$

Dabei ist

n_{syn} die synchrone Drehzahl in min^{-1} ;

f_{supp} die Versorgungsfrequenz in Hz.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anzahl der Polpaare ist die Anzahl der Pole, geteilt durch 2.

^{N1)} Nationale Fußnote: ISO 13373-3:2015 ist noch nicht erschienen, siehe daher ISO/DIS 13373-3:2014.

3.6**Polpassierfrequenz**

bei Asynchronmotoren die Schlupffrequenz des Rotors, multipliziert mit der Anzahl der Pole

3.7**Statornuten-Passierfrequenz**

Anzahl der Nuten im Stator, multipliziert mit der Rotordrehzahl

3.8**Rotornuten-Passierfrequenz**

Anzahl der Rotornuten, multipliziert mit der Rotordrehzahl

3.9**Rotorsteg-Passierfrequenz**

Anzahl der Stege an einem Käfigläufer, multipliziert mit der Rotordrehzahl

4 Messungen**4.1 Schwingungsmessungen**

Schwingungsmesswerte können durch die Verwendung von hauptsächlich zwei Kategorien von Aufnehmern erhalten werden:

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

Zur Erleichterung der Beurteilung der nach diesen beiden Verfahren ermittelten Schwingstärke sind Normen erstellt worden, insbesondere ISO 7919 und ISO 10816.

Eine Anleitung zur Auswahl der geeigneten Norm ist im ISO/TR 19201 enthalten.

Es wichtig zu beachten, dass ein geeigneter Aufnehmer, eine geeignete Signalanpassungseinheit und ein geeignetes Mess- und Analysesystem für die Fehlerdiagnose unter Berücksichtigung spezieller Situationen bei Elektromotoren verwendet werden sollten. Beispielsweise ist für die Erkennung von Rotorstegproblemen eine hohe Auflösung im Spektrum erforderlich, um die Schlupffrequenz zu erkennen. Bevor irgendeine Messung durchgeführt wird, ist es häufig erforderlich, die Schutzerdung und das elektrische Feld der Maschine zu berücksichtigen.

Eine Anleitung zur Auswahl eines geeigneten Aufnehmers und Messsystems sowie der Messverfahren ist in ISO 13373-1 und ISO 13373-2 angegeben.

4.2 Messungen der Betriebsparameter der Maschine

Es handelt sich um Betriebsparameter, z. B. Drehzahl, Last, Motorausrichtung (vertikal oder horizontal), Aufstellung (starre oder elastische Stützkonstruktion) und Temperatur, die sich auf die Schwingungseigenschaften der Maschine auswirken können und deshalb wichtig sind, um zu einer richtigen Diagnose zu gelangen. Bei einer vorgegebenen Maschine können diese Parameter mit einer Reihe von Gleichgewichts- und Störzustandsbedingungen in Beziehung gesetzt werden.

5 Erstanalyse

Eine Erstanalyse sollte unter Anwendung der in ISO 13373-3:2015 ^{N1)}, Anhang A, angegebenen Anleitungen durchgeführt werden. Diese Analyse sollte sicherheitstechnische Belange, das Vorkommen von starken Schwingungen und in diesem Fall die Schwingstärke, das Maschinentagebuch, die Auswirkungen der Betriebsparameter, die Folgen des Nichteinleitens korrigierender Maßnahmen und die Notwendigkeit des Abschaltens des Motors umfassen. Während der Erstanalyse sollten auch weitere Faktoren berücksichtigt werden, wie die Aufstellungskonstruktion des Motors, die Position im Hinblick auf weitere rotierende Maschinen, Gebäudestruktur, Umgebung usw. Siehe auch ISO 13373-3:2015 ^{N1)}, Anhänge B bis D, zu allgemeinen Fehlerzuständen aufgrund der Installation und von Lagerschäden.

6 Motorspezifische Analyse

In zahlreichen Industrieanwendungen werden Elektromotoren als Antrieb für Pumpen, Lüfter und Kompressoren verwendet. Dieser Teil von ISO 13373 behandelt die Angaben zur Schwingungsdiagnose für die gebräuchlichsten Typen, wie Asynchron-, Synchron- und Gleichstrommotoren. Symptome der am weitesten verbreiteten Motorschäden, die übermäßige Schwingungswerte verursachen, sind in Anhang A angegeben. Jedoch enthält Anhang A nicht die Motorschwingungen aufgrund einer lockeren Motoraufstellung, eines hydrodynamischen Gleitlagers oder von Wälzlagerproblemen; diese werden in ISO 13373-3:2015 ^{N1)}, Anhänge B bis D, behandelt. Die Vorgehensweise für die Schwingungsanalyse bei Elektromotoren ist in Anhang B angegeben, wohingegen in Anhang C Fallstudien zur Erläuterung der Vorgehensweise zur Verfügung gestellt werden.

Die Verwendung von anderen Kenngrößen als Schwingungen, wie etwa Spannung und Strom, zur Ermittlung und Analyse von Fehlern bei Elektromotoren, die sich in den Schwingungen bemerkbar machen, ist in Anhang D angegeben.

^{N1)} Nationale Fußnote: ISO 13373-3:2015 ist noch nicht erschienen, siehe daher ISO/DIS 13373-3:2014.

Anhang A (normativ)

Systematische Vorgehensweise zur Schwingungsanalyse bei Elektromotoren

Die systematische Vorgehensweise zur Schwingungsanalyse bei Elektromotoren ist in der Fehlertabelle in Tabelle A.1 angegeben.

ANMERKUNG Der größte Teil der Theorie, warum spezielle Schäden durch bestimmte Schwingungsfrequenzen und weitere Merkmale erkannt werden können, kann in den Literaturhinweisen [3] und [4] gefunden werden.

Tabelle A.1 — Fehlertabelle zur Schwingungsanalyse bei Elektromotoren

Schaden	Messbedingungen, unter denen die Schwingungsänderung auftritt	Anfängliche Rate der Änderung der Schwingungsgröße	Wesentliche Frequenzkomponenten der veränderten Schwingungsgröße und die Phasenwinkel	Anschließendes Schwingungsverhalten	Auswirkung auf Resonanzdrehzahl	Auswirkung einer Leistungsabschaltung	Wiederholbarkeit	Bemerkungen
Lockere Statorspulen (Synchronmotoren)	Entstehung üblicherweise allmählich mit der Zeit	Langsame Änderung	(Anzahl der Statorspulen) multipliziert mit (1× Drehzahl) mit Seitenbändern bei 1× Drehzahl	Werte steigen mit der Zeit an	Keine	Unmittelbarer Abfall der Schwingungswerte	Ja	Kommt selten vor, wenn die Statorwicklung vollständig vakuumdruckimprägniert ist
Verbogene Wellenenden	Üblicherweise nach Versagen angetriebener Geräten oder bei hoher Radiallast	Schnelle Änderung	Hauptsächlich 1× Drehzahl, aber auch 2× Versorgungsfrequenz und Modulation davon mit 2× Schlupffrequenz bei 2-poligen Käfigläufermotoren	Kann mit der Zeit steigen und mit der Last schwanken, wenn eine hohe axiale Last an den Wellenenden vorhanden ist	Keine	Leichter anfänglicher Abfall, doch dann mit der Zeit langsam	Schwingungswerte können sich mit der Belastung und Temperatur verändern	Kann durch Messung des gesamten angegebenen Rundlaufs am Wellenende verifiziert werden
Rotor läuft außerhalb des magnetischen Mittelpunkts	Nach Installation des Motors oder axialer Neuausrichtung mit angetriebenen Geräten	Hängt davon ab, wie weit der Rotor von seinem axialen magnetischen Mittelpunkt abweicht	Hohe axiale 1×, 2× oder 3× Drehfrequenz mit viel geringeren radialen Schwingungen	Kann sich mit der Last verändern	Keine	Unmittelbarer Abfall der Schwingungswerte	Schwingungswerte können sich mit der Belastung und Temperatur verändern	Höhere Schwingungswerte an Motoren mit radialen Kühlkanälen an Stator und Rotor

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Schaden	Messbedingungen, unter denen die Schwingungsänderung auftritt	Anfängliche Rate der Änderung der Schwingungsgröße	Wesentliche Frequenzkomponenten der veränderten Schwingungsgröße und die Phasenwinkel	Anschließendes Schwingungsverhalten	Auswirkung auf Resonanzdrehzahl	Auswirkung einer Leistungsabschaltung	Wiederholbarkeit	Bemerkungen
Risse oder Brüche an Käfigwicklungen	Nach Anlaufen des Motors, außer aufgrund von Hohlräumen in Druckguss-Rotorwicklungen	Langsam, wenn die Rotorwicklung nicht aus Guss ist	Hohe $1 \times$ Drehfrequenz mit Seitenbändern bei $\pm$ Schlupffrequenz mal Polzahl. Auch Harmonische dieser Frequenzen. Schwingungsgröße kann bei Schlupffrequenz mal Polzahl schwanken und bei Belastung steigen. Können auch starke axiale Schwingungen bei $4 \times$ Drehfrequenz sein	Schwingungen nehmen bei weiteren Brüchen der Käfigwicklung zu. Weiter entstehen Unwucht und Schwingungen aufgrund von thermischem Verbiegen	Änderung des Verhaltens	Sofortiger Abfall der Schwingungswerte	Schwingungswerte verändern sich bei weiteren Brüchen in der Käfigwicklung	Motor wird beim Anlaufen laut, und die Anlaufzeit verlängert sich wegen des verringerten Motordrehmoments. Kann meist verifiziert werden durch Motorstromanalyse und Seitenbänder der $2 \times$ Schlupffrequenz um die Versorgungsfrequenz
Lockere Stege der Kurzschlusswicklung	Entsteht meist kurz nach Inbetriebnahme des Motors, wenn die Stege nicht schon bei der Herstellung locker waren	Langsame Änderungsrate, wenn Lockerung bei Inbetriebnahme entsteht	$2 \times$ Schlupffrequenz, Seitenbänder um $1 \times$, $2 \times$ oder $3 \times$ Rotornut-Passierfrequenzkomponenten	Schwingungswerte nehmen mit der Zeit zu und können bei Belastung streuen, wenn sich weitere Stege lockern	Veränderlich unter Belastung	Rotornut-Passierfrequenzen verschwinden sofort. Unwuchtwirkung. Frequenzkomponente kann bei etwas niedrigerer Drehzahl sofort verschwinden	Ja	Übermäßige Lockerung und thermisches Verbiegen des Rotors kann mechanische Unwucht bei Motoren mit höherer Drehzahl hervorrufen

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Schaden	Messbedingungen, unter denen die Schwingungsänderung auftritt	Anfängliche Rate der Änderung der Schwingungsgröße	Wesentliche Frequenzkomponenten der veränderten Schwingungsgröße und die Phasenwinkel	Anschließendes Schwingungsverhalten	Auswirkung auf Resonanzdrehzahl	Auswirkung einer Leistungsabschaltung	Wiederholbarkeit	Bemerkungen
Ungleichmäßige Versorgungsspannungen	Gleichbleibende Lastbedingungen	Abhängig von Spannungsungleichmäßigkeit	2× Netzversorgungsspannung, radial mit Seitenbändern bei 1/3× Versorgungsfrequenz, eventuell Schwebung der Amplitude	Schwingungswerte nehmen mit der Spannungsungleichmäßigkeit zu	Nicht zutreffend	Fällt schnell ab, wenn nicht eine Resonanzdrehzahl unterhalb der Drehzahl liegt	Kann bei Wackelkontakt nicht wiederholbar sein	Spannungsungleichmäßigkeit kann durch unsymmetrische Spannung oder Wackelkontakte an Motorklemmen entstehen
Riss in der Rotorwelle	Gleichbleibende Lastbedingungen	Anfangs langsam	1× und 2×, 3× meist radial, manche axial, abhängig von der Art des Risses	1× Komponente steigt exponentiell mit der Zeit, 2× Schwingungswerte weichen ab	Frequenz kann sich verringern und in zwei Spitzenwerte aufteilen	Kann aufgrund fehlender magnetischer Anziehung zwischen Rotor und Stator anfänglich abfallen, anschließend weiter zurückgehen	Kann nicht wiederholbar sein	Schwingungsänderungen im stabilen Zustand können unbedeutend sein. Beim Auslaufen können höhere Amplituden offensichtlich sein, wenn Resonanzdrehzahlen den Schaden beschleunigen. Beobachtung der Trends bei harmonischen Schwingungskomponenten. Vergleich von langsamem Auslaufen und Änderungen der 1× und mancher 2× Kenngrößen

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Schaden	Messbedingungen, unter denen die Schwingungsänderung auftritt	Anfängliche Rate der Änderung der Schwingungsgröße	Wesentliche Frequenzkomponenten der veränderten Schwingungsgröße und die Phasenwinkel	Anschließendes Schwingungsverhalten	Auswirkung auf Resonanzdrehzahl	Auswirkung einer Leistungsabschaltung	Wiederholbarkeit	Bemerkungen
Annäherung der Resonanzdrehzahl des Rotors an die Betriebsdrehzahl	Übliche Betriebsbedingungen, kann aber beim Anlaufen die Resonanzdrehzahl durchlaufen	Sofort offensichtlich	1× Drehzahl, meist radial	Ändert sich wahrscheinlich nicht mit der Zeit	Nicht zutreffend	Fällt schnell ab, wenn nicht eine Resonanzdrehzahl unterhalb der Drehzahl liegt	Ja	Messungen der Wellenverlagerung sind am besten zur Erkennung dieses Problems geeignet
Annäherung der Strukturresonanzen an die Betriebsdrehzahl	Übliche Betriebsbedingungen, kann aber beim Anlaufen die Resonanzdrehzahl durchlaufen	Sofort offensichtlich	1× Drehzahl radial oder axial, aber vorherrschend in einer Ebene	Ändert sich wahrscheinlich nicht mit der Zeit	Nicht zutreffend	Fällt schnell ab, wenn nicht eine Resonanzdrehzahl unterhalb der Drehzahl liegt	Ja	Messungen der Wellenverlagerung sind am besten zur Erkennung dieses Problems geeignet
Kurzschlüsse bei Schenkelpolrotoren	Gleichbleibende Lastbedingungen	Sofort offensichtlich	Drehzahl mal Polzahl. Wert proportional zu Anzahl der Kurzschlüsse und Erregerstrom. Hauptsächlich radialer Schwingungsmodus	Nimmt bei weiteren Kurzschlüssen zu	Kann Resonanzdrehzahl verändern wegen zunehmender radialer Lagerbelastung durch einseitigen magnetischen Zug zwischen Rotor und Stator	Sofortiger Abfall des Schwingungswerts	Ja	Manchmal schwierig zu verifizieren, da Kurzschlüsse verschwinden können, da Zentrifugalkräfte, die bei laufendem Motor auftreten, am Rotor im Stillstand nicht vorhanden sind

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Schaden	Messbedingungen, unter denen die Schwingungsänderung auftritt	Anfängliche Rate der Änderung der Schwingungsgröße	Wesentliche Frequenzkomponenten der veränderten Schwingungsgröße und die Phasenwinkel	Anschließendes Schwingungsverhalten	Auswirkung auf Resonanzdrehzahl	Auswirkung einer Leistungsabschaltung	Wiederholbarkeit	Bemerkungen
Lockere Schenkelpole	Bei gleichbleibender Last und während des An- und Auslaufens	Kann mit der Zeit langsam entstehen	Drehzahl mal Polzahl mit 1× Drehzahl, Seitenbänder meist radial	Nimmt bei weiterer Lockerung an den Polen zu	Kann Resonanzdrehzahl verändern	Fällt mit der Drehzahl langsam ab	Ja	
Gebrochene Erregerwicklungen und Wackelkontakte bei Gleichstrommotoren	Gleichbleibende Lastbedingungen	Kann mit der Zeit langsam entstehen	Meist 6× Halbleiterschaltfrequenz am AC-DC-Gleichrichter (meist radial)	Kann bei zunehmenden Wackelkontakten steigen	Nicht anwendbar	Sofortiger Abfall des Schwingungswerts	Ja	
Mangelhafte Ausrichtung mit angetriebenen Geräten	Siehe ISO 13373-3: 2015, Anhang B							

Anhang B (informativ)

Vorgehensweise zur Schwingungsdiagnose von Fehlern bei Elektromotoren

B.1 Allgemeines

Eine Vorgehensweise zur Schwingungsdiagnose von Fehlern bei Elektromotoren ist in den Flussdiagrammen in den Bildern B.1 bis B.4 angegeben.

ANMERKUNG ODS (en: operational deflection shape) bedeutet Betriebsschwingungsform.

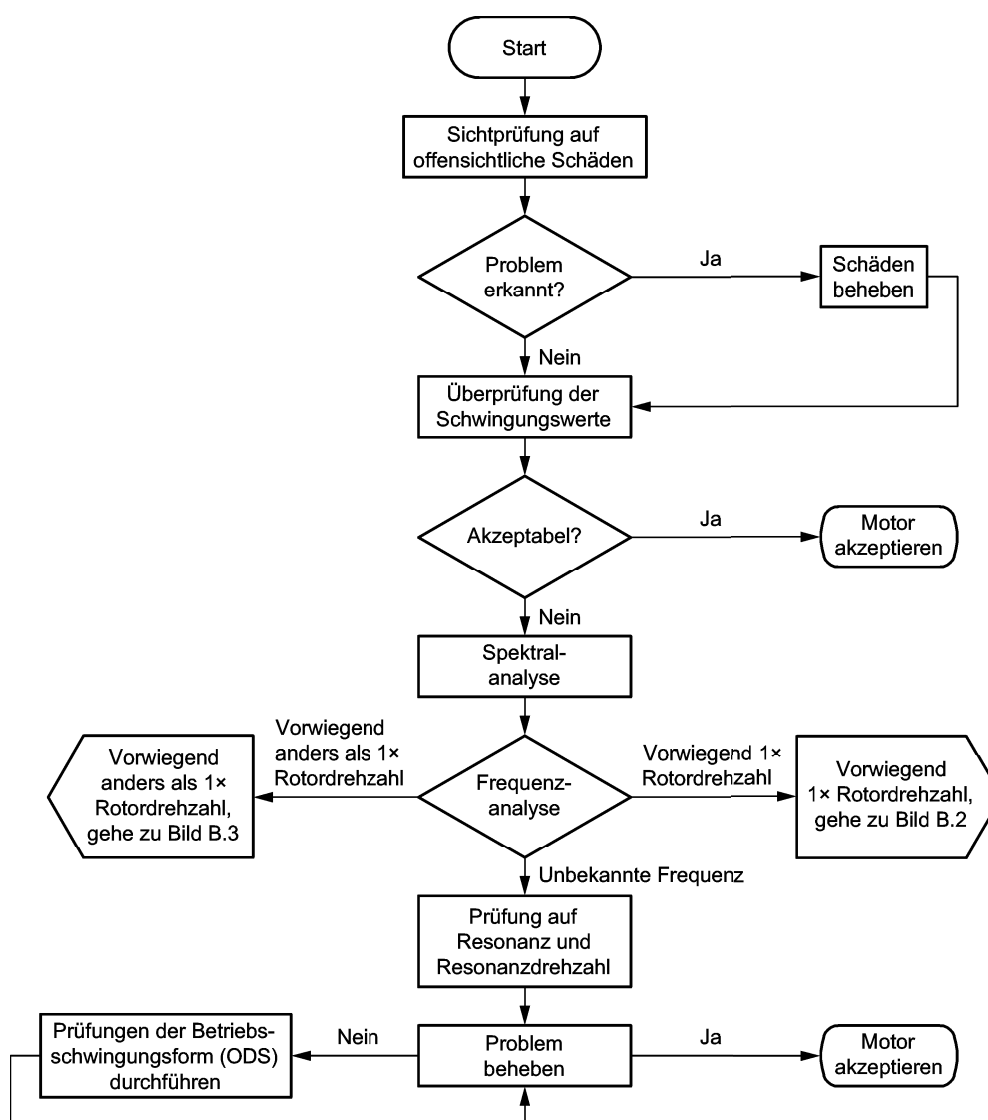


Bild B.1 — Beginn der Vorgehensweise



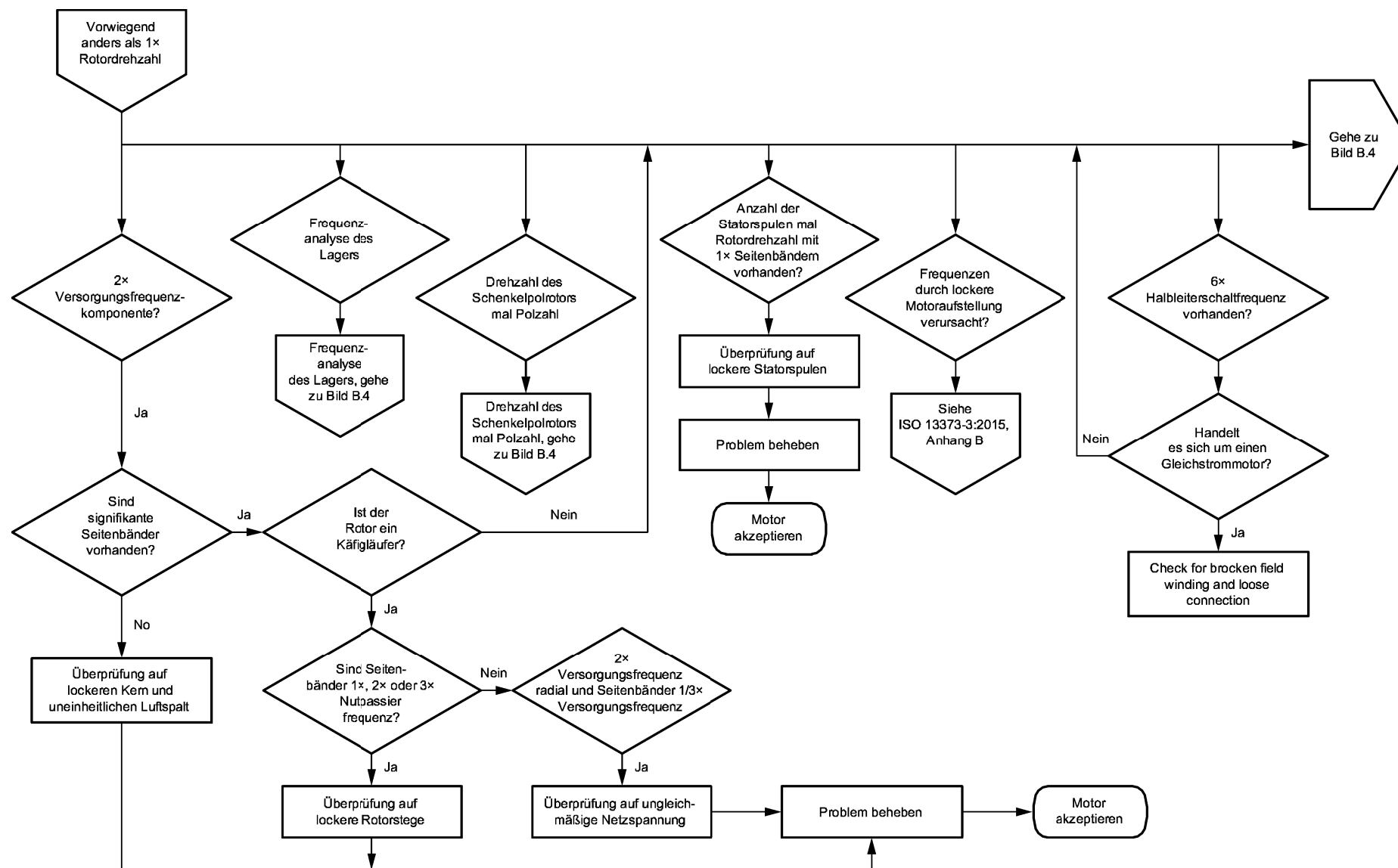


Bild B.3 — Verfahren bei Rotordrehzahlen, die vorwiegend anders sind als 1x (erster Teil)