

DIN ISO 10816-21



ICS 17.160; 27.180

Einsprüche bis 2014-07-16

Entwurf

**Mechanische Schwingungen –
Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an
nicht-rotierenden Teilen –
Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe
(ISO/DIS 10816-21:2014)**

Mechanical vibration –
Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts –
Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox (ISO/DIS 10816-21:2014)

Vibrations mécaniques –
Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes –
Partie 21: Turbines éoliennes à l'axe horizontal avec multiplicateur
(ISO/DIS 10816-21:2014)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-05-16 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 21 Seiten

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

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise.....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Grundprinzipien	8
4.1 Messung und Kenngrößen	8
4.2 Mittelungsverfahren und Beurteilungsgrößen für Schwingungen von WEA	8
4.3 Beurteilungsdauer	9
5 Hinweise zur Messung und Auswertung.....	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Gondel und Turm	10
5.3 Rotorlager	11
5.4 Getriebe	11
5.5 Generator	12
5.6 Anforderungen an die Messgeräte.....	12
5.7 Montage und Ankopplung der Schwingungsaufnehmer	13
5.8 Betriebsbedingungen bei der Messung	13
6 Kriterien für die Bewertung	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Bewertungszonen	14
6.3 Änderung der Schwingungsgröße	15
7 Grenzen der Bewertungszonen	15
8 Einstellung von Grenzwerten für den Betrieb	15
8.1 Allgemeines	15
8.2 WARNUNG-Grenzen	16
8.3 ALARM-Grenzen	16
8.4 ABSCHALT-Grenzen	16
9 Informationen zur Schwingungsüberwachung	16
9.1 Überwachung der breitbandigen Schwingungen.....	16
9.2 Zustandsüberwachung (Condition-Monitoring)	17
Anhang A (informativ) Grenzen der Bewertungszonen.....	18
Anhang B (informativ) Schematische Darstellungen zweiter typischer Bauarten einer WEA mit Getriebe	19
Literaturhinweise	21

Nationales Vorwort

Der internationale Norm-Entwurf ISO/DIS 10816-21 „Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox“ 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 Unterausschuss NA 001-03-06-02 UA (NALS/VDI C 6.2) „Messung und Beurteilung von Maschinenschwingungen“ in Zusammenarbeit mit dem Ausschuss VDI/NALS FA 623 „Schwingungen in Windenergieanlagen“.

Der Inhalt der Richtlinie VDI 3834 Blatt 1:2009-03 wurde unter deutscher Projektleitung in die ISO eingebracht, um ihn international zu etablieren. Da Teile und der Aufbau des Textes geändert wurden (nicht aber die Schwingungsrichtwerte), erfolgt mit dem vorliegenden Norm-Entwurf eine dem ISO-Entwurf identische deutsche Ausgabe.

Der Ausschuss VDI/NALS FA 623 erstellt zurzeit eine Überarbeitung und Erweiterung von VDI 3834 Blatt 1.

Zu den im Inhalt genannten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen und Publikationen hingewiesen:

ISO 2954	siehe	DIN ISO 2954
ISO 5348	siehe	DIN ISO 5348
ISO 8041	siehe	DIN EN ISO 8041
ISO 13372	siehe	DIN ISO 17359 Beiblatt 1
Normen der Reihe ISO 13373	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 13373
IEC 60034-14	siehe	DIN EN 60034-14 (VDE 0530-14)
IEC 60050-415	siehe	IEV 415
IEC 61400-4	siehe	DIN EN 61400-4 (VDE 0127-4)

Die Deutschen Normen sind in Anhang NA aufgeführt.

ISO 10816 besteht aus den folgenden Teilen mit dem Haupttitel *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*:

- *Part 1: General guidelines*
- *Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min*
- *Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*
- *Part 4: Gas turbine sets with fluid-film bearings*
- *Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*
- *Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW*
- *Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts*
- *Part 8: Reciprocating compressor systems*
- *Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox*

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 EN 61400-4 (VDE 0127-4), *Windenergieanlagen — Teil 4: Auslegungsanforderungen für Getriebe von Windenergieanlagen*

DIN EN ISO 8041, *Schwingungseinwirkung auf den Menschen — Messeinrichtung*

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

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 1 500 min⁻¹, 1 800 min⁻¹, 3 000 min⁻¹ und 3 600 min⁻¹*

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 15 000 min⁻¹ bei Messungen am Aufstellungsort*

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

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

DIN ISO 10816-7, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 7: Kreispumpen für die Anwendung in der Industrie (einschließlich Messung der Wellenschwingungen)*

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

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

IEV 415, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch — Teil 415: Windenergieanlagen*

VDI 3834 Blatt 1:2009-03, *Messung und Beurteilung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen und deren Komponenten — Onshore-Windenergieanlagen mit Getrieben*

Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe

Einleitung

Frühere Normen zur Bewertung der Schwingungen von Bauwerken und Maschinen sind aufgrund der konstruktiven und betrieblichen Eigenarten von Windenergieanlagen (WEA) nicht auf diese anwendbar. Die Schwingungen von Turm und Gondel einer Windenergieanlage, die durch Wind, durch Störungen des Luftstroms aufgrund des Turms (Aufwindeffekt des Turms), durch die Eigenschwingung der Rotorblätter und des Bauwerks selbst (Turm und Fundament) sowie bei Offshore-Windenergieanlagen zusätzlich durch Seegang verursacht werden, unterscheiden sich in ihrem Zeitverhalten und in den Schwingungsspektren von den Schwingungen anderer industrieller Bauten.

Die Grundnorm ISO 10816-1 zur Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen könnte für die Komponenten von Windenergieanlagen (Rotorlager, Getriebe und Generator) herangezogen werden. Sie ist Grundlage einer Reihe von Normen, darunter ISO 10816-3 für industrielle Maschinen aller Arten. Windenergieanlagen sind jedoch ausdrücklich vom Geltungsbereich von ISO 10816-3 ausgenommen.

Die in den anderen Teilen von ISO 10816 festgelegten Kriterien wären grundsätzlich auch auf Komponenten von Windenergieanlagen anwendbar, aber in diesen Normen gelten sie nur für Schwingungen, die von der Maschine selbst ausgehen und ihre Komponenten somit direkt beeinflussen. Sie gelten auch für die Bewertung der Schwingungsemission, d. h. der Übertragung von Schwingungen in die Umgebung einer Maschine. Die Kriterien können jedoch nicht auf Schwingungen angewandt werden, die von externer Quelle auf die Maschine übertragen werden, also auf die Schwingungsimmission. Bei Windenergieanlagen handelt es sich hier um die Auswirkungen der vom Wind erregten Schwingungen des Turms oder der Gondel. Bei Offshore-Windenergieanlagen kommt noch der Seegang als Schwingungsquelle hinzu. Aufgrund der außerordentlich hohen Biegsamkeit von Rotorblättern und Turm und der geringen Drehzahlen des Rotors müssen auch niederfrequente Schwingungen in die Messung und Bewertung einbezogen werden.

Aufgrund dieser Notwendigkeit zur Messung und Bewertung von niederfrequenten Schwingungen der Komponenten in Reaktion auf periodische und stochastische Erregungsquellen müssen auch die Beurteilungsgrößen abweichend von ISO 10816-3 angepasst werden. Dies wird durch die Auswirkung von Wind und Wellen auf die WEA-Konstruktion zusätzlich verkompliziert, die zu niederfrequenten Schwingungen mit hoher Amplitude führt.

Da sich die Schwingungsgröße bei einer Windenergieanlage stark auf die Belastung ihrer Komponenten und somit auf deren Zuverlässigkeit und Lebensdauer im Betrieb auswirkt, besteht bei Herstellern, Eigentümern, Betreibern, Reparatur- und Wartungsdienstleistern sowie Finanzierern von Windenergieanlagen großes Interesse an einer anerkannten Norm, mit der Kriterien und Empfehlungen für die Messung und Bewertung der mechanischen Schwingung von Windenergieanlagen und ihren Komponenten bereitgestellt werden. Dies ist die vorrangige Aufgabe des vorliegenden und eines nachfolgenden Teils von ISO 10816.

Der Zweck besteht in der Normung der Messungen, um die Bewertung zu vereinfachen und eine vergleichende Bewertung der gemessenen Schwingungen an Windenergieanlagen und ihren Komponenten zu ermöglichen. Falls die Grenzen der Bewertungszonen überschritten werden, sollten die Ergebnisse der entsprechenden Messungen Rückschlüsse auf mögliche Bedrohungen für die jeweiligen Komponenten der Windenergieanlage oder für die Gesamtkonstruktion zulassen, auch ohne dass die Ursachen hierfür ausführlich ermittelt werden. Wenn die Grenzen der Bewertungszonen nicht überschritten werden, liegt zwar ein durchaus übliches Laufverhalten vor, die Möglichkeit einzelner Schadensfälle ist hierdurch jedoch nicht ausgeschlossen. Die Grenzwerte der Bewertungszonen sind nicht zur Nutzung als Abnahmewerte gedacht; diese müssen vom Hersteller und/oder vom Anwender vereinbart werden.

Das Funktionsprinzip von Windenergieanlagen, die unter diesen Teil von ISO 10816 fallen, beruht auf einem Rotor mit horizontaler Drehachse. Der Rotor besteht aus einer Rotornabe, an der die Rotorblätter entweder starr oder um ihrer Längsachse drehbar befestigt sind. Die Rotornabe ist mit dem Triebstrang der WEA verbunden. Die mechanische Energie wird durch einen über ein Getriebe oder direkt gekuppelten Generator in elektrische Energie umgewandelt. Diese zur Energieumwandlung dienenden Komponenten sind in der Regel in einem Maschinenhaus untergebracht, das als Gondel bezeichnet wird. Die Gondel ist drehbar auf der Turmspitze gelagert, während der Turm selbst auf einem Fundament steht.

Die Rotorblätter – und damit der Rotor – sind nicht nur asymmetrisch auftreffenden Luftströmen, sondern auch stochastischen Schwankungen der Windgeschwindigkeit ausgesetzt. Asymmetrisch auftreffende Luftströme können beispielsweise durch Windturbulenzen, Böen, abseits der axialen Richtung auf den Rotor auftreffende Luftströme sowie durch eine unregelmäßige Verteilung der Windgeschwindigkeit über die Rotoroberfläche bedingt sein. Neben der aerodynamischen Last wird die Windenergieanlage auch durch Trägheitskräfte sowie durch Lasten infolge unterschiedlicher Betriebssituationen beeinflusst. Durch die Überlagerung von externen Bedingungen und Betriebsbedingungen, wie Ausgangsleistung und Drehzahl, entstehen unter Berücksichtigung der konstruktiven Auslegung der Windenergieanlage oder ihrer einzelnen Komponenten wechselnde Lasten auf die gesamte WEA mit Rotor, Triebstrang, Turm und Fundament. Es kommt somit zur Schwingungserregung an den einzelnen Komponenten.

Der Triebstrang besteht aus Baugruppen, die sich in Konstruktionstyp und Wellenbauart unterscheiden. Dadurch können sie abhängig oder unabhängig von der Drehzahl Schwingungen erregen. Generatoren, Getriebe und Kupplungen weisen je nach Hersteller und Bauart ein unterschiedliches Schwingungsverhalten auf, und zwar nicht nur als Einzelbaugruppen, sondern auch in der Interaktion mit und in Abhängigkeit vom WEA-Konstruktionstyp. Je nach Erreger und Erregungsspektrum können die auftretenden Schwingungen beispielsweise Folge mangelhafter Ausrichtung sein und dazu führen, dass die ineinandergreifenden Zähne der Zahnräder im Getriebe gegeneinanderstoßen. Darüber hinaus können im Triebstrang Resonanzschwingungen auftreten. Aus diesen Gründen muss in jedem Fall die gesamte Windenergieanlage betrachtet werden, also der Triebstrang mitsamt Rotorblättern, Gondel und Turm.

Um den großen Einfluss des Aufstellungsorts und der Bauart des mechanischen Triebstrangs auf die Schwingungsgröße aller Komponenten der Windenergieanlage angemessen zu berücksichtigen, mussten die Windenergieanlagen in zwei Gruppen unterteilt werden.

Gruppe 1: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse, bei denen der Generator über ein Getriebe an den Rotor gekuppelt ist,

Gruppe 2: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse, bei denen der Generator ohne Getriebe an den Rotor gekuppelt ist (Direktantrieb).

Dieser Teil von ISO 10816 gilt für Windenergieanlagen der Gruppe 1. ISO 10816-22 für Windenergieanlagen der Gruppe 2 ist in Vorbereitung; eine begrenzte Menge von Messdaten ist bereits verfügbar.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 10816 legt die Messung und Bewertung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen (WEA) und ihren Komponenten durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen fest. Er gilt für Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse, einem mechanischen Getriebe, einer Nenn-Ausgangsleistung des Generators von über 200 kW und den folgenden Konstruktions- und Betriebseigenschaften:

- a) Aufstellung auf Tragsystemen (Turm und Fundament) aus Stahl und/oder Beton;
- b) Rotor mit horizontaler Drehachse und mehreren Rotorblättern;
- c) Rotorlager separat vom Getriebe oder ins Getriebe integriert;
- d) Generatoren über ein Getriebe gekuppelt;
- e) Synchron- oder Asynchrongeneratoren (meist mit 4-poligem Generator ausgestattet);
- f) Generatoren, die eine feste Polanzahl haben oder zur Drehzahlregelung polumschaltbar sind;
- g) Regelung der Ausgangsleistung durch Anpassung der Rotorblätter (Pitchregelung, d. h. Rotorblattverstellung, oder Stallregelung, d. h. Strömungsabriss);
- h) Generator über einen Wandler oder direkt mit dem Stromnetz verbunden.

In diesem Teil von ISO 10816 werden Zonen für die Bewertung der Schwingungen bei Dauerlastbetrieb empfohlen. In den meisten Fällen sind die Grenzen dieser Bewertungszonen jedoch unter Umständen nicht zur frühzeitigen Erkennung von Fehlern geeignet. Zurzeit werden in diesem Teil von ISO 10816 keine konkreten Schwingungswerte für die Zonengrenzen festgelegt, weil nicht genügend Daten für die gesamte Palette von Windenergieanlagen in aller Welt vorliegen, die unter diesen Teil von ISO 10816 fallen. In einem Anhang sind zu Informationszwecken Grenzwerte der Bewertungszonen für Onshore-Windenergieanlagen angegeben, die auf Schwingungsdaten von etwa 1 000 Windenergieanlagen mit einer Nenn-Ausgangsleistung des Generators von bis zu 3 MW beruhen. Diese können für Vereinbarungen zwischen Anwendern und Herstellern hilfreich sein. Bewertungszonen für Offshore-Windenergieanlagen sind noch nicht verfügbar.

Obwohl auf die Art und die Umsetzung einer breitbandigen Schwingungsüberwachung von Windenergieanlagen eingegangen wird, ist dieser Teil von ISO 10816 nicht auf die Diagnose oder Fehlererkennung durch eine Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen anwendbar.

ANMERKUNG 1 Informationen zur Zustandsüberwachung und -diagnose von Windenergieanlagen werden in ISO 16079 gegeben.

Die Bewertung der Auswuchtgüte des langsam drehenden Rotors einer Windenergieanlage, für die spezielle Messungen und Analysen erforderlich sind, fällt nicht unter diesen Teil von ISO 10816.

Dieser Teil von ISO 10816 ist nicht auf die Bewertung von Torsionsschwingungen im Triebstrang anwendbar. Die gekoppelte Seiten- und Drehschwingung von Turm und Triebstrang kann sich zwar auf die Amplituden der festgelegten Schwingungskenngrößen auswirken, aber die Diagnose dieser Art von Schwingungsquelle ist mit den in diesem Teil von ISO 10816 beschriebenen Verfahren nicht durchführbar. Zur allgemeinen Konstruktionsprüfung sowie zur spezifischen Fehlerdiagnose sind spezielle Messungen erforderlich, die über den Anwendungsbereich dieses Teils von ISO 10816 hinausgehen.

ANMERKUNG 2 Die Lastmessung mittels Dehnungsmessstreifen an der Tragkonstruktion und an den Rotorblättern ist in IEC/TS 61400-13 beschrieben. Methoden zur leichten Erkennung von Wälzlager- und Getriebebeschäden sind in ISO 13373-2 geschildert. Die Messung und Bewertung von Körperschall bei Wälzlagern ist in VDI 3832 beschrieben.

Ferner ist dieser Teil von ISO 10816 nicht auf Abnahmemessungen an Getrieben und Generatoren im Prüffeld des Herstellers anwendbar.

ANMERKUNG 3 Diese werden anhand geeigneter Normen durchgeführt, insbesondere ISO 8579-2 und IEC 60034-14.