

DIN ISO 10816-21



ICS 17.160; 27.180

**Mechanische Schwingungen –
Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an
nicht-rotierenden Teilen –
Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe
(ISO 10816-21:2015)**

Mechanical vibration –

Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts –

Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox (ISO 10816-21:2015)

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 10816-21:2015)

Gesamtumfang 22 Seiten

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

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Grundprinzipien	9
4.1 Mess- und Kenngrößen	9
4.2 Mittelungsverfahren und Beurteilungsgrößen für die Schwingungen von WEA	10
4.3 Beurteilungsdauer	10
5 Angaben zur Messung und Auswertung	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Gondel und Turm	11
5.3 Rotorlager	12
5.4 Getriebe	13
5.5 Generator	13
5.6 Anforderungen an die Messeinrichtung	14
5.7 Montage und Ankopplung der Schwingungsaufnehmer	14
5.8 Betriebsbedingungen bei der Messung	15
6 Kriterien für die Bewertung	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Bewertungszonen	16
6.3 Änderung der Schwingungsgröße	16
7 Grenzen der Bewertungszonen	17
8 Festlegung von Grenzwerten für den Betrieb	17
8.1 Allgemeines	17
8.2 WARNUNG-Grenzen	17
8.3 ALARM-Grenzen	18
8.4 ABSCHALT-Grenzen	18
9 Informationen zur Schwingungsüberwachung	18
9.1 Überwachung der breitbandigen Schwingungen	18
9.2 Zustandsüberwachung (Condition-Monitoring)	18
Anhang A (informativ) Grenzen der Bewertungszonen	19
Anhang B (informativ) Schematische Darstellungen zweier typischer Bauarten von Windenergieanlagen mit Getriebe	20
Literaturhinweise	22

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 10816-21:2015 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 erfolgte durch den Ausschuss NA 001-03-06-02 UA (NALS/VDI C 6.2) „Messung und Beurteilung von Maschinenschwingungen“ des Normenausschusses Akustik, Lärm-minderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI in Zusammenarbeit mit dem Ausschuss VDI/NALS FA 623 „Schwingungen in Windenergieanlagen“ der VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozess-gestaltung (GPP).

Der Inhalt der Richtlinie VDI 3834 Blatt 1:2009-03 wurde unter deutscher Projektleitung in die ISO eingebracht, um ihn international zu etablieren. Im Rahmen der internationalen Arbeit wurden einige Teile und der Aufbau des Textes gegenüber der VDI-Richtlinie geändert, nicht jedoch die Grenzen der Bewertungszonen. Mit der vorliegenden Norm erfolgt eine der ISO-Norm identische deutsche Ausgabe.

Der Ausschuss VDI/NALS FA 623 hat zwischenzeitlich die Richtlinie VDI 3834 Blatt 1 überarbeitet und dabei erweitert. Diese Neufassung der Richtlinie stellt eine Ergänzung zur vorliegenden Norm dar: Sie enthält zusätzliche, anwendungsbezogene Hinweise und Präzisierungen aufgrund der Erfahrungen aus der Anwendung der Ausgabe von 2009 sowie einen neuen Anhang mit Informationen zum Auswuchten des Rotors am Aufstellungsort. Weiterhin wurde die Begrenzung des Gültigkeitsbereichs der Zonengrenzen auf Windenergieanlagen mit einer Nennleistung ≤ 3 MW aufgehoben.

Ein Blatt 2 für Windenergieanlagen ohne Getriebe (entsprechend der in der vorliegenden Norm genannten Gruppe 2) befindet sich derzeit in Arbeit.

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.

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 und Publikationen sind in Anhang NA aufgeführt.

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

— *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 einer Nennleistung 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 einer Leistung über 100 kW*

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 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 13373-3, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 3: Anleitungen zur Schwingungsdiagnose^{*)}*

DIN ISO 13373-9, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 9: Diagnoseverfahren für Elektromotoren^{*)}*

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

IEV 415, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch — Teil 415: Windenergieanlagen; Identisch mit IEC 60050-415^{**)}*

VDI 3834 Blatt 1, *Messung und Beurteilung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen und deren Komponenten — Windenergieanlagen mit Getriebe*

^{*)} z. Z. Entwurf

^{**)} Frei zugänglich unter www.dke.de/de/Online-Service/DKE-IEV/Seiten/IEV-Woerterbuch.aspx

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

Einleitung

Bisherige Internationale Normen zur Bewertung der Schwingungen von Bauwerken und Maschinen sind aufgrund der speziellen Betriebsbedingungen und konstruktiven Eigenarten von Windenergieanlagen (WEA) nicht auf diese anwendbar. Die Schwingungen von Turm und Gondel einer Windenergieanlage, die durch die Einwirkung von Wind, Störungen der Luftströmung aufgrund des Turms (Turmvorstau), Eigenschwingungen der Rotorblätter und der Tragstruktur (Turm und Fundament) sowie bei Offshore-Windenergieanlagen zusätzlich z. B. vom Seegang verursacht werden, unterscheiden sich in ihrem Zeitverlauf und den Spektren von den Schwingungen anderer Ingenieurbauwerke.

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 die Grundnorm einer Reihe von weiteren Internationalen Normen, darunter ISO 10816-3 für industrielle Maschinen aller Arten. Windenergieanlagen sind jedoch ausdrücklich aus dem Anwendungsbereich von ISO 10816-3 ausgenommen.

Die in den anderen Teilen von ISO 10816 festgelegten Kriterien wären grundsätzlich auch auf Komponenten von Windenergieanlagen anwendbar. Allerdings gelten diese Kriterien nur für Schwingungen, die in der Maschine selbst entstehen und ihre Komponenten somit direkt beeinflussen. Die Kriterien gelten auch für die Bewertung der Schwingungsemission, d. h. der Übertragung von Schwingungen auf die Umgebung eines Maschinensatzes, sie können jedoch nicht auf Schwingungen angewandt werden, die von externen Quellen auf die Maschinen übertragen werden, d. h. Schwingungsimmission, Körperschall. Bei Windenergieanlagen ist das die Einwirkung von Schwingungen des Turms oder der Gondel, die durch Wind und bei Offshore-Windenergieanlagen zusätzlich durch Seegang angeregt werden. Wegen der außerordentlich hohen Biegsamkeit der Rotorblätter und des Turms sowie der geringen Drehzahlen des Rotors ist es nötig, auch niederfrequente Schwingungen in die Messung und Bewertung einzubeziehen.

Die Notwendigkeit zur Messung und Bewertung der niederfrequenten Schwingungen der Komponenten als Antwort auf periodische und stochastische Anregungsquellen macht gegenüber ISO 10816-3 geänderte Beurteilungsgrößen erforderlich. Dies ist wegen der Einwirkungen von Wind und Wellen auf die WEA-Struktur, die zu niederfrequenten Schwingungen mit hoher Amplitude führen, kompliziert.

Wegen des großen Einflusses des Schwingungsniveaus einer Windenergieanlage auf die Beanspruchung aller ihrer Komponenten und somit auf ihre Betriebszuverlässigkeit und Lebensdauer besteht bei Herstellern, Betreibern, Service- und Wartungsunternehmen sowie Investoren von Windenergieanlagen großes Interesse an einer anerkannten Norm, mit der Kriterien und Empfehlungen für die Messung und Bewertung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen und ihren Komponenten bereitgestellt werden. Dies ist die wesentliche Aufgabe des vorliegenden Teils von ISO 10816 und eines geplanten Folgteils 22.

Der Zweck dieses Teils von ISO 10816 besteht in der Vereinheitlichung der Messungen, der Unterstützung bei der Bewertung und der Ermöglichung einer vergleichbaren Beurteilung der Schwingungsmesswerte von Windenergieanlagen und ihren Komponenten. Falls die Grenzen der Bewertungszonen überschritten werden, sollten die Ergebnisse solcher Messungen Rückschlüsse auf eine mögliche Gefährdung der entsprechenden Komponenten der Windenergieanlage oder der Gesamtanlage zulassen, ohne dass die Ursachen hierfür im Einzelnen ermittelt werden. Wenn die Grenzen der Bewertungszonen nicht überschritten werden, liegt zwar ein durchaus übliches Laufverhalten vor, die Möglichkeit einzelner Schadensfälle ist damit jedoch nicht ausgeschlossen. Die Grenzwerte der Bewertungszonen sind nicht als Abnahmewerte gedacht; solche müssen zwischen dem Hersteller und dem Betreiber vereinbart werden.

Das Funktionsprinzip von Windenergieanlagen, die in diesem Teil von ISO 10816 behandelt werden, beruht auf einem Rotor mit horizontaler Drehachse. Der Rotor besteht aus einer Rotornabe, an der die Rotorblätter entweder starr oder um ihre 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 Komponenten zur Energieumwandlung sind in der Regel in einem Maschinenhaus untergebracht, das als Gondel bezeichnet wird. Die Gondel ist drehbar auf einem Turm gelagert, der in einem Fundament gegründet ist.

Die Rotorblätter und somit der Rotor sind nicht nur unsymmetrischen Anströmverhältnissen, sondern auch stochastischen Schwankungen der Windgeschwindigkeit ausgesetzt. Unsymmetrische Anströmungen resultieren beispielsweise aus Windturbulenzen, Böen, Schräganströmung des Rotors sowie einer ungleichmäßigen Windgeschwindigkeitsverteilung über der Rotorfläche. Neben den aerodynamischen Belastungen wirken auch Trägheitskräfte (Massenkräfte) sowie Belastungen infolge unterschiedlicher Betriebssituationen auf die Windenergieanlage ein. Durch die Überlagerung der externen Bedingungen mit den Betriebsbedingungen, z. B. Leistung und Drehzahl, entstehen in Abhängigkeit von der konstruktiven Ausführung der Windenergieanlage bzw. ihrer einzelnen Komponenten Wechselbelastungen auf die gesamte WEA mit Rotor, Triebstrang, Turm und Fundament. Diese führen zur Schwingungsanregung an den einzelnen Komponenten.

Triebstränge bestehen aus Baugruppen, die bauartbedingt und triebstrangspezifisch drehzahlabhängige und drehzahlunabhängige Schwingungen anregen können. Generatoren, Getriebe und Kupplungen zeigen je nach Hersteller und Bauart unterschiedliches Schwingungsverhalten, und zwar sowohl als einzelne Baugruppe als auch in ihrem Zusammenspiel sowie in Abhängigkeit vom WEA-Konstruktionstyp. Je nach Anregung und Anregungsbereich können Schwingungen beispielsweise als Folge mangelhafter Ausrichtung entstehen und dazu führen, dass Zahneingriffsstöße im Getriebe auftreten. Darüber hinaus können im Triebstrang Resonanzschwingungen auftreten. Aus diesen Gründen muss stets die gesamte Windenergieanlage betrachtet werden, also der Triebstrang mitsamt Rotorblättern, Gondel und Turm.

Um den großen Einfluss zu berücksichtigen, den die Bauart des mechanischen Triebstrangs auf das Schwingungsniveau aller Komponenten einer Windenergieanlage haben kann, ist es notwendig, die Windenergieanlagen in zwei Gruppen zu unterteilen:

- 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. Ein Teil 22 für Windenergieanlagen der Gruppe 2 ist geplant; eine begrenzte Menge an Messdaten liegt bereits vor.