

	DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 17.140.20; 27.180 Ersatz für DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11):2003-11 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren (IEC 61400-11:2002 + A1:2006); Deutsche Fassung EN 61400-11:2003 + A1:2006 Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques (IEC 61400-11:2002 + A1:2006); German version EN 61400-11:2003 + A1:2006 Aérogénérateurs – Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique (CEI 61400-11:2002 + A1:2006); Version allemande EN 61400-11:2003 + A1:2006 Gesamtumfang 49 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2003-03-18 angenommene EN 61400-11 gilt zusammen mit der am 2006-06-01 angenommenen Änderung A1 als DIN-Norm ab 2007-03-01.

Daneben darf **DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11):2003-11** noch bis 2009-06-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61400-11/A1 (VDE 0127-11/A1):2004-12.

In dieser Europäischen Norm ist die Änderung A1 zur Internationalen Norm als Ergänzung eingearbeitet worden. Die Änderung A1 zur Europäischen Norm und zur Internationalen Norm ist durch eine senkrechte Linie am linken Seitenrand des Textes gekennzeichnet.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 383 „Windenergieanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 88 „Wind turbine systems“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11):2003-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Ergänzungen in den Abschnitten:

- a) 5;
- b) 6.2.1;
- c) 7.2.1;
- d) 7.3;
- e) 9.5.

Abänderungen in den Abschnitten:

- f) 7.2.2.3;
- g) 7.3.1.1;
- h) 8.3;
- i) D.4.1.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11): 2000-02, 2003-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60386:1972 A1:1988	DIN IEC 60386:1995-04	–
Zurückgezogen: EN 60651:1994	Zurückgezogen: IEC 60651:1979	Zurückgezogen: DIN EN 60651:1994-05	–
EN 60688:1992 A1:1999 A2:2001	IEC 60688:1992 A1:1997 mod. A2:2001	DIN EN 60688:2002-04	–
EN 60804:2000	IEC 60804:2000	DIN EN 60804:2002-01	–
EN 60942:1998	IEC 60942:1997	DIN EN 60942:1998-08	–
EN 61260:1995 A1:2001	IEC 61260:1995 A1:2001	DIN EN 61260:2003-03	–
EN 61400-12:1998	IEC 61400-12:1998	DIN EN 61400-12 (VDE 0127-12):1999-07	VDE 0127-12
EN 61672-1:2003	IEC 61672-1:2002	DIN EN 61672-1:2003-10	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60651:1994-05, *Schallpegelmesser (IEC 60651:1979 + A1:1993); Deutsche Fassung EN 60651:1994 + A1:1994*

DIN EN 60688:2002-04, *Elektrische Messumformer zur Umwandlung von Wechselstromgrößen in analoge oder digitale Signale (IEC 60688:1992 + A1:1997, modifiziert + A2:2001); Deutsche Fassung EN 60688:1992 + A1:1999 + A2:2001*

DIN EN 60804:2002-01, *Integrierte mittelwertbildende Schallpegelmesser (IEC 60804:2000); Deutsche Fassung EN 60804:2000*

DIN EN 60942:1998, *Elektroakustik; Schallkalibratoren (IEC 60942:1997); Deutsche Fassung EN 60942:1998*

DIN EN 61260:2003-03, *Elektroakustik – Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven (IEC 61260:1995 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 61260:1995 + A1:2001*

DIN EN 61400-12 (VDE 0127-12):1999-07, *Windenergieanlagen – Teil 12: Messverfahren zur Bestimmung des Leistungsverhaltens bei Windenergieanlagen (IEC 61400-12:1998); Deutsche Fassung EN 61400-12:1998*

DIN EN 61672-1:2003-10, *Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2002); Deutsche Fassung EN 61672-1:2003*

DIN IEC 60386:1995-04, *Messverfahren für Geschwindigkeitsschwankungen bei Tonaufzeichnungs- und -wiedergabegeräten (IEC 60386:1972 + A1:1988)*

**Windenergieanlagen –
Teil 11: Schallmessverfahren**
(IEC 61400-11:2002 + A1:2006)

Wind turbine generator systems –
Part 11: Acoustic noise measurement
techniques
(IEC 61400-11:2002 + A1:2006)

Aérogénérateurs –
Partie 11: Techniques de mesure du bruit
acoustique
(CEI 61400-11:2002 + A1:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2003-03-18 und die A1 am 2006-06-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61400-11:2003 + A1:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 88/166/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 61400-11, ausgearbeitet von dem IEC TC 88 „Wind turbines“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2003-03-18 als EN 61400-11 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt DIN EN 61400-11:1998.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2003-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): –

Anhänge, die als "normativ" bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als "informativ" bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und sind die Anhänge A bis D informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61400-11:2002 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Vorwort zu A1

Der Text des Schriftstücks 88/260/FDIS, zukünftige Änderung 1 zu IEC 61400-11:2002, ausgearbeitet von dem IEC TC 88 „Wind turbines“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-06-01 als Änderung A1 zu EN 61400-11:2003 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2007-03-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-06-01

Anerkennungsnotiz

Der Text der Änderung 1:2006 zur Internationalen Norm IEC 61400-11:2002 wurde von CENELEC als Änderung zur Europäischen Norm ohne irgendeine Abänderung angenommen.

In der offiziellen Fassung ist unter „Literaturhinweise“ zu der aufgelisteten Norm die nachstehende Anmerkung einzutragen:

IEC 61672-1 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 61672-1:2003 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Einheiten	8
5 Verfahrensbeschreibung	9
6 Messgeräte	10
6.1 Akustische Messgeräte	10
6.1.1 Geräte zur Bestimmung des A-bewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegels	10
6.1.2 Geräte zur Bestimmung der Terzspektren	10
6.1.3 Geräte zur Bestimmung der Schmalbandspektren	10
6.1.4 Mikrofon mit schallharter Platte und Windschirm	11
6.1.5 Akustischer Kalibrator	11
6.1.6 Datenaufnahme- und -wiedergabesysteme	11
6.2 Nicht-akustische Messgeräte	11
6.2.1 Anemometer	11
6.2.2 Elektrischer Wirkleistungsumformer	12
6.2.3 Windrichtungsgeber	12
6.2.4 Sonstige Messgeräte	12
6.3 Rückführbare Kalibrierung	12
7 Messungen und Durchführung der Messungen	12
7.1 Messpunkte	12
7.1.1 Messpunkte für akustische Messungen	12
7.1.2 Messpunkte für die Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsmessung	13
7.2 Akustische Messungen	14
7.2.1 Anforderungen an die akustischen Messungen	14
7.2.2 Akustische Messungen am Referenzmesspunkt 1	14
7.2.2.1 A-bewerteter Schalldruckpegel	14
7.2.2.2 Terzband-Messungen	14
7.2.2.3 Schmalbandmessungen	15
7.2.3 Optionale akustische Messungen an den Messpunkten 2, 3 und 4	15
7.2.4 Andere optionale Messungen	15
7.3 Nicht-akustische Messungen	15
7.3.1 Messungen der Windgeschwindigkeit	15
7.3.1.1 Verfahren 1: Bestimmung der Windgeschwindigkeit aus der Leistungsabgabe und der Leistungskurve	16
7.3.1.1.1 Gondelanemometer-Methode	17
7.3.1.1.2 κ -Faktor-Methode	17
7.3.1.2 Verfahren 2: Bestimmung der Windgeschwindigkeit mit einem Anemometer	17

	Seite
7.3.2 Windrichtung	17
7.3.3 Andere atmosphärische Bedingungen	18
7.3.4 Rotorgeschwindigkeit und Messung des Blatteinstellungswinkels	18
8 Datenauswertung	18
8.1 Windgeschwindigkeit	18
8.2 Korrekturen bezüglich des Fremdgeräusches	19
8.3 Immissionsrelevanter Schallleistungspegel	19
8.4 Terzbandpegel	20
8.5 Tonhaltigkeit	20
8.5.1 Allgemeine Vorgehensweise	20
8.5.2 Identifizierung möglicher Töne	21
8.5.3 Klassifizierung der Spektrallinien innerhalb der kritischen Bandbreite	21
8.5.4 Bestimmung des Tonpegels	21
8.5.5 Korrektur bezüglich des Fremdgeräusches	22
8.5.6 Bestimmung des Pegels des maskierenden Geräusches	22
8.5.7 Bestimmung der Tonhaltigkeit	22
8.5.8 Wahrnehmbarkeit	22
8.6 Richtcharakteristik (optional)	23
9 Angaben im Bericht	24
9.1 Beschreibung der Windenergieanlage	24
9.2 Merkmale der Umgebung	25
9.3 Messgeräte	25
9.4 Akustische Daten	25
9.5 Nicht-akustische Daten	26
9.6 Messunsicherheiten	26
Anhang A (informativ) Weitere Charakteristiken der Geräuschabstrahlung von WEA und ihre Quantifizierung	36
Anhang B (informativ) Kriterien für die Aufnahme-/Wiedergabegeräte	38
Anhang C (informativ) Einschätzung der Turbulenz	40
Anhang D (informativ) Beurteilung der Messunsicherheit	41
Literaturhinweise	44
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	45
 Bilder	
Bild 1a – Anordnung des Mikrofons – Draufsicht	27
Bild 1b – Anordnung des Mikrofons – Vertikaler Querschnitt	27
Bild 1 – Anordnung des Mikrofons	27
Bild 2 – Foto des Mikrofons und der schallharten Platte	28
Bild 3 – Anordnung der Mikrofon-Messpunkte – Draufsicht	29
Bild 4a – WEA mit horizontaler Achse	30

	Seite
Bild 4b – WEA mit vertikaler Achse	30
Bild 4 – Darstellung zu den Definitionen von R_0 und des schrägen Abstandes R_1	30
Bild 5 – Zulässiger Bereich für den Standort des Windmessmastes als Funktion von β – Draufsicht.....	31
Bild 6 – Zulässiger Bereich für den Standort des Windmessmastes – Seitenansicht.....	32
Bild 7 – Fließdiagramm für die Tonhaltigkeitsanalyse	33
Bild 8 – Veranschaulichung des Pegels $L_{70\%}$	34
Bild 9 – Veranschaulichung der Linien, die unterhalb des Bemessungspegels $L_{70\%} + 6$ dB liegen	34
Bild 10 – Veranschaulichung des Pegels $L_{pn,avg}$ und der als „maskierend“ klassifizierten Linien	35
Bild 11 – Veranschaulichung der Klassifizierung aller Spektrallinien	35
Bild B.1 – Toleranzen für den Frequenzgang, IEC 60651, Klasse 1	38
 Tabellen	
Tabelle 1 – Rauigkeitslänge	19
Tabelle 2 – Frequenzauflösung	20
Tabelle D.1 – Beispiele möglicher Werte für Messunsicherheitskomponenten des Typs B, welche relevant sind für den immissionsrelevanten Schallleistungspegel	42

Einleitung

Zweck dieses Teils der IEC 61400 ist es, eine einheitliche Methode zu bieten, welche die Übereinstimmung und Genauigkeit bei der Messung und Auswertung der Geräuschemission von Windenergieanlagen (WEA) sicherstellt. Sie wurde mit der Erwartung erstellt, angewendet zu werden von:

- WEA-Herstellern, die bestrebt sind, den konkreten Anforderungen an die Geräuschabstrahlung und/oder an ein mögliches Deklarationsverfahren nachzukommen;
- WEA-Käufern, um derartige Anforderungen an die Geräuschemissionswerte festzulegen;
- WEA-Betreibern, die die Einhaltung der angegebenen oder geforderten akustischen Spezifikationen für neue oder modifizierte Anlagen nachweisen müssen;
- WEA-Planern oder Genehmigungsbehörden, die die genauen rechtmäßigen Anforderungen an die akustischen Spezifikationen neuer oder modifizierter Anlagen im Hinblick auf Schallschutzbestimmungen definieren müssen.

Diese Norm stellt eine Anleitung zur Messung, Auswertung und Ergebnisdarstellung im Hinblick auf die komplexe Geräuschemission einer Windenergieanlage (WEA) dar. Die Norm dient allen Beteiligten, die mit der Planung, Herstellung, Installation, Genehmigung, Gesetzgebung, Nutzung bzw. dem Betrieb von WEA zu tun haben. Die in dieser Norm empfohlenen Mess- und Auswertverfahren sollten von allen Parteien angewandt werden, um sicherzustellen, dass die kontinuierliche Entwicklung sowie der Betrieb von WEA in Bezug auf die Umweltbelange im Rahmen einer einheitlichen und eindeutigen Kommunikation stattfindet. Die in dieser Norm beschriebenen Verfahren der Messung und Berichterstellung lassen genaue Ergebnisse erwarten, die von Dritten wiederholt werden können.

Diese Änderung zur IEC 61400-11:2002 bezieht sich auf spezielle Fälle, bei denen 95 % der Bemessungsleistung unterhalb von 10 m/s in 10 m Höhe erreicht werden, sowie auf Standorte, an denen Windgeschwindigkeiten von 10 m/s in 10 m Höhe sehr selten sind. Des Weiteren ist eine Klärung der Regressionsanalyse und der Frequenzbewertung enthalten.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61400 beschreibt Geräuschmessverfahren, die es ermöglichen, die Geräuschemission einer WEA zu charakterisieren. Dabei werden Messmethoden für den Nahbereich der WEA angewandt, um durch die Schallausbreitung bedingte Fehler zu vermeiden, jedoch wiederum in ausreichender Entfernung, um die WEA als Punktquelle betrachten zu können. Die beschriebenen Verfahren unterscheiden sich in mancher Hinsicht von denjenigen, die für behördliche Lärmuntersuchungen herangezogen würden. Sie sollen die Charakterisierung der WEA-Gerauschemissionen über einen Bereich von Windgeschwindigkeiten und Richtungen ermöglichen. Die Vereinheitlichung der Messverfahren erleichtert zudem den Vergleich unterschiedlicher WEA.

Die Verfahren beinhalten Methoden, die eine einheitliche und genaue Charakterisierung der Geräuschemission einer einzelnen WEA ermöglichen. Die Verfahren beinhalten im Einzelnen:

- Angabe der Messpunkte bei der Geräuschmessung;
- Anforderungen an die Erfassung akustischer und meteorologischer Daten sowie relevanter Betriebsdaten der WEA;
- Auswertung der Messdaten und Inhalt des Messberichts sowie
- Definition spezifischer akustischer Parameter und verknüpfter Größen, die zur schallschutztechnischen Bewertung erforderlich sind.

Diese Norm ist nicht beschränkt auf WEA einer bestimmten Größe oder eines bestimmten Typs. Die in dieser Norm beschriebenen Messverfahren erlauben eine vollständige Beschreibung der Geräuschemission einer WEA. Wenn in einzelnen Fällen weniger umfangreiche Messungen benötigt werden, werden diese entsprechend den relevanten Abschnitten dieser Norm durchgeführt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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).

IEC 60386:1972, *Method of measurement of speed fluctuations in sound recording and reproducing equipment*.

IEC 60651:1979, *Sound level meters*.

IEC 60688:1992, *Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals*.

IEC 60804:2000, *Integrating-averaging sound level meters*.

IEC 60942:1997, *Electroacoustics – Sound calibrators*.

IEC 61260:1995, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*.

IEC 61400-12:1998, *Wind turbine generator systems – Part 12: Wind turbine power performance testing*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe.

3.1

immissionsrelevanter Schalleistungspegel L_{WA} (in dB bezogen auf 1 pW)

A-bewerteter Schalleistungspegel bezogen auf 1 pW einer Punktschallquelle im Zentrum der Rotorebene der WEA, von der die gleiche Geräuschemission in Mitwindrichtung ausgeht, wie von der vermessenen WEA; L_{WA} wird bei jedem ganzzahligen Windgeschwindigkeitswert von 6 m/s bis 10 m/s bestimmt

3.2

Wahrnehmbarkeitsschwelle L_a (in dB bezogen auf 20 µPa)

eine frequenzabhängige, durch Hörtests ermittelte Bemessungskurve, welche das subjektive Ansprechen eines „typischen“ Hörers auf Töne verschiedener Frequenzen widerspiegelt

3.3

A- oder C-bewertete Schalldruckpegel L_A oder L_C (in dB bezogen auf 20 µPa)

Schalldruckpegel, gemessen mit einer Frequenzbewertung A bzw. C entsprechend den Spezifikationen nach IEC 60651

3.4

Richtcharakteristik Δ_i (in dB)

Differenz zwischen den A-bewerteten Schalldruckpegeln an den Messpositionen 2, 3 und 4 und den an der Referenzposition 1 gemessenen Pegeln, bezüglich der Entfernung korrigiert auf den gleichen Abstand zum Zentrum der Rotorebene

3.5

Einfallswinkel ϕ (in Grad)

Winkel zwischen der Ebene der Mikrofon-Platte und der Verbindungslinie zwischen Mikrofon und Mittelpunkt des Rotors

3.6

Referenzabstand R_0 (in m)

horizontaler Abstand zwischen der Turmmittellinie der WEA und den vorgeschriebenen Mikrofonpositionen

3.7**Referenzhöhe z_{ref} (in m)**

eine Höhe von 10 m zur Umrechnung der Windgeschwindigkeit auf Referenzbedingungen

3.8**Referenzrauigkeitslänge $z_{0\text{ref}}$ (in m)**

eine Rauigkeitslänge von 0,05 m zur Umrechnung der Windgeschwindigkeit auf Referenzbedingungen

3.9**Schalldruckpegel L_p (in dB bezogen auf 20 μPa)**

der zehnfache dekadische Logarithmus des Verhältnisses des mittleren, quadratischen Schalldruckes zum Quadrat des Bezugsschalldruckes von 20 μPa

3.10**normierte Windgeschwindigkeit V_s (in m/s)**

die auf Referenzbedingungen (10 m Höhe und 0,05 m Rauigkeitslänge) umgerechnete Windgeschwindigkeit unter der Annahme eines logarithmischen Windprofils

3.11**tonale Wahrnehmbarkeit $\Delta L_{a,k}$ (in dB)**

die Differenz zwischen der Tonhaltigkeit und der Wahrnehmbarkeitsschwelle bei den ganzzahligen Windgeschwindigkeitswerten $k = 6, 7, 8, 9, 10$

3.12**Tonhaltigkeit ΔL_k (in dB)**

die Differenz zwischen dem Pegel des Tones und dem Pegel des maskierenden Geräusches innerhalb der kritischen Bandbreite um den Ton bei den ganzzahligen Windgeschwindigkeitswerten $k = 6, 7, 8, 9, 10$

4 Symbole und Einheiten

D	Rotordurchmesser (Horizontalachsen-WEA) bzw. Äquatordurchmesser (Vertikalachsen-WEA)	(m)
H	Höhe des Rotormittelpunktes (Horizontalachsen-WEA) bzw. Höhe der Rotor-Äquatorebene (Vertikalachsen-WEA) über Bodenniveau am WEA-Standort	(m)
L_A oder L_C	A- oder C-bewerteter Schalldruckpegel	(dB)
$L_{Aeq,k}$	äquivalenter Dauerschalldruckpegel (A-bewertet) bei jedem ganzzahligen Windgeschwindigkeitswert, wobei $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)
$L_{Aeq,c,k}$	äquivalenter Dauerschalldruckpegel (A-bewertet), fremdgeräuschkorrigiert, bei jedem ganzzahligen Windgeschwindigkeitswert bei Referenzbedingungen, wobei $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)
$L_{Aeq,i}$	äquivalenter, fremdgeräuschkorrigierter Dauerschalldruckpegel (A-bewertet) an der Position i , wobei $i = 1, 2, 3$ oder 4 ist	(dB)
L_n	äquivalenter Dauerschalldruckpegel des Fremdgeräusches	(dB)
$L_{pn,j,k}$	Schalldruckpegel des maskierenden Geräusches innerhalb der kritischen Bandbreite im j -ten Spektrum bei der k -ten Windgeschwindigkeit, wobei $j = 1$ bis 12 und $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)
$L_{pn,avg,j,k}$	mittlerer Schmalband-Schalldruckpegel der Stützstellen des maskierenden Geräusches im j -ten Spektrum bei der k -ten Windgeschwindigkeit, wobei $j = 1$ bis 12 und $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)
$L_{pt,j,k}$	Schalldruckpegel des Tones bzw. der Töne im j -ten Spektrum bei der k -ten Windgeschwindigkeit, wobei $j = 1$ bis 12 und $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)
L_s	äquivalenter Dauerschalldruckpegel des alleinigen WEA-Geräusches	(dB)
L_{s+n}	äquivalenter Dauerschalldruckpegel des kombinierten WEA- und Fremdgeräusches	(dB)
$L_{WA,k}$	immissionsrelevanter Schallleistungspegel, wobei $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)

P_m	gemessene elektrische Leistung	(W)
P_n	normierte elektrische Leistung	(W)
R_i	schräger Abstand zwischen Rotormittelpunkt und Messpunkt i , wobei $i = 1, 2, 3$ oder 4 ist	(m)
R_0	Referenzabstand	(m)
S_0	Bezugsfläche, $S_0 = 1 \text{ m}^2$	(m ²)
T_C	Lufttemperatur	(°C)
T_K	Lufttemperatur	(K)
U_A, U_B	Messunsicherheitskomponenten	(dB)
V_H	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	(m/s)
V_D	Windgeschwindigkeit, aus Leistungskurve abgeleitet	(m/s)
V_n	Windgeschwindigkeit gemessen mit dem Gondelanemometer	(m/s)
V_z	Windgeschwindigkeit in der Höhe z	(m/s)
V_s	normierte Windgeschwindigkeit	(m/s)
f	Tonfrequenz (Hz)	
f_c	Mittenfrequenz des kritischen Frequenzbandes	(Hz)
p	atmosphärischer Druck	(kPa)
z_0	Rauigkeitslänge	(m)
$z_{0\text{ref}}$	Referenzrauigkeitslänge, 0,05 m	(m)
z	Höhe des Anemometers	(m)
z_{ref}	Referenzhöhe für die Windgeschwindigkeit, 10 m	(m)
β	Winkel zur Definition des erlaubten Bereiches für den Standort des Windmessmastes	(°)
κ	Verhältnis der normierten Windgeschwindigkeit zur gemessenen Windgeschwindigkeit	
Δ_i	Richtcharakteristik an der i -ten Position, wobei $i = 1, 2, 3$ oder 4 ist	(dB)
$\Delta_{Ltn,j,k}$	Tonhaltigkeit des j -ten Spektrums bei der k -ten Windgeschwindigkeit, wobei $j = 1$ bis 12 und $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ist	(dB)
ϕ	Einfallswinkel	(°)

5 Verfahrensbeschreibung

Dieser Teil der IEC 61400 legt das Verfahren zur Messung, Auswertung und Ergebnisdarstellung der Geräuschemission von WEA fest. Die Anforderungen an die Messgeräte und Kalibrierung sind näher festgelegt, um die Genauigkeit und Einheitlichkeit der akustischen und anderen Messungen sicherzustellen. Die nicht-akustischen Messungen, die notwendig sind, um die für die Ermittlung der Geräuschemission relevanten atmosphärischen Bedingungen zu ermitteln, sind ebenfalls näher erläutert. Angeführt sind alle zu messenden und darzustellenden Parameter sowie die zur Bestimmung dieser Parameter notwendige Datenverarbeitung.

Aus der Anwendung des in dieser Internationalen Norm beschriebenen Verfahrens resultieren die immissionsrelevanten Schallleistungspegel, Spektren und die Tonhaltigkeiten einer WEA bei ganzzahligen Windgeschwindigkeitswerten von 6 m/s bis 10 m/s. Optional kann die Richtcharakteristik bestimmt werden.

Die Messungen werden in geringer Entfernung zur WEA durchgeführt, um den Einfluss der Geländeeigenschaften, der atmosphärischen Bedingungen und der windinduzierten Geräusche zu minimieren. Um den Dimensionen der WEA Rechnung zu tragen, wird in einer von der Größe der WEA abhängigen Referenzentfernung R_0 gemessen.

Die Messungen werden mit einem Mikrofon auf einer schallharten Platte am Boden durchgeführt, um das windinduzierte Geräusch am Mikrofon und den Einfluss unterschiedlicher Bodeneigenschaften zu minimieren.

Messungen der Schalldruckpegel und der Windgeschwindigkeiten werden zeitgleich über kurze Zeiträume und über einen großen Windgeschwindigkeitsbereich durchgeführt. Die gemessene Windgeschwindigkeit wird auf die Referenzhöhe von 10 m und die Rauigkeitslänge von 0,05 m umgerechnet. Die Schalldruckpegel bei normierten Windgeschwindigkeiten von 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s und 10 m/s werden bestimmt und für die Berechnung der A-bewerteten, immissionsrelevanten Schalleistungspegel verwendet.

Wird dieser Teil der IEC 61400 zur Verifizierung, dass die tatsächliche Schallemission mit einem Referenz-/deklarierten Schallpegel übereinstimmt, benutzt, so besteht an die Verifizierungsmessung die Forderung, dass sie für den Windgeschwindigkeitsbereich in Übereinstimmung mit der Norm durchgeführt werden muss, der gegeben ist durch

- Jahresdurchschnittswindgeschwindigkeit in 10 m Höhe am Anlagenstandort ± 1 m/s als Minimum. Mindestens drei ganzzahlige Windgeschwindigkeitswerte sowie 8 m/s sind im Bericht aufzuführen (z.B. Standortdurchschnitt = 4,8 m/s, verwende 4, 5, 6 und 8 m/s).
- Wenn die Deklarationsmessungen zeigen, dass hörbare Töne bei anderen Windgeschwindigkeiten vorhanden sind, sind diese Windgeschwindigkeiten ebenfalls mit einzuschließen.

Wo lokale Vorgaben oder Verträge zwischen den Parteien (z.B. Hersteller, Entwickler, Eigentümer) Messungen bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten oder Windgeschwindigkeitsbereichen erfordern, kann dieser Teil der IEC 61400 für diese Windgeschwindigkeiten angewandt werden.

Die Richtcharakteristik wird durch Vergleich des A-bewerteten Schalldruckpegels an drei zusätzlichen Messpositionen um die WEA mit dem am Referenzpunkt gemessenen Wert bestimmt.

Informative Anhänge enthalten:

- andere mögliche Geräuschcharakteristiken von WEA und deren Quantifizierung ([Anhang A](#));
- Kriterien für Aufnahme- und Wiedergabegeräte ([Anhang B](#));
- Ermittlung der Turbulenzintensität ([Anhang C](#));
- Ermittlung der Messunsicherheit ([Anhang D](#)).

6 Messgeräte

6.1 Akustische Messgeräte

Die im Folgenden aufgeführten Messgeräte sind notwendig, um die in dieser Norm dargestellten akustischen Messungen durchzuführen.

6.1.1 Geräte zur Bestimmung des A-bewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegels

Die Geräte müssen die Anforderungen nach IEC 60804 an einen Schallpegelmesser der Klasse 1 erfüllen. Der Durchmesser des Mikrofons darf nicht größer als 13 mm sein.

6.1.2 Geräte zur Bestimmung der Terzspektren

Über die Anforderungen für Schallpegelmesser der Klasse 1 hinaus müssen die Geräte mindestens über den Frequenzbereich von 45 Hz bis 11 200 Hz einen konstanten Frequenzgang haben. Die Filter müssen den Anforderungen nach IEC 61260, Klasse 1, entsprechen.

Der äquivalente Dauerschalldruckpegel der Terzbänder muss gleichzeitig für die Mittenfrequenzen von 50 Hz bis 10 kHz bestimmt werden. Unter bestimmten Umständen kann es erforderlich sein, die tieffrequente Geräuschemission einer WEA zu messen. In solchen Fällen ist, wie im [Anhang A](#) erläutert, ein größerer Frequenzbereich erforderlich.

6.1.3 Geräte zur Bestimmung der Schmalbandspektren

Die Geräte müssen den relevanten Anforderungen nach IEC 60651 für Messgeräte der Klasse 1 im Frequenzbereich von 20 Hz bis 11 200 Hz genügen.

6.1.4 Mikrofon mit schallharter Platte und Windschirm

Das Mikrofon muss mittig auf einer ebenen, schallharten Platte, mit der Membran senkrecht zur Platte und mit der Achse in Richtung WEA angebracht werden, siehe [Bilder 1](#) und [2](#). Die runde Platte muss einen Durchmesser von mindestens 1 m besitzen; das Material muss schallhart sein, so z. B. eine mindestens 12 mm dicke Sperrholz- oder harte Spanplatte oder eine mindestens 2,5 mm dicke Metallplatte. Eine größere Platte wird besonders bei einem weichen Boden empfohlen. Für den Ausnahmefall einer geteilten Platte (d. h. nicht einteilig) ist zu berücksichtigen, dass die Teile in derselben Ebene auszurichten sind und der Spalt kleiner als 1 mm sein und außermittig sowie parallel zur Mikrofonachse liegen muss, wie es auf [Bild 1a](#) dargestellt ist.

Der in Verbindung mit dem am Boden positionierten Mikrofon zu verwendende Windschutz muss aus einem ersten und gegebenenfalls zusätzlich einem zweiten Windschirm bestehen. Der erste Windschirm besteht aus einer Hälfte einer Kugel aus offenporigem Schaumstoff mit einem Durchmesser von etwa 90 mm und wird mittig um die Mikrofonmembran angebracht (siehe [Bild 2](#)).

Der zweite Windschirm kann benutzt werden, um bei hohen Windgeschwindigkeiten genügend Störabstand bei tiefen Frequenzen zu erhalten.

Er kann z. B. aus einem halbkugelförmigen Drahtrahmen mit mindestens 450 mm Durchmesser bestehen, überzogen mit einer 13 mm bis 25 mm dicken Lage aus offenporigem Schaumstoff einer Porosität von 4 bis 8 Poren je 10 mm. Der zweite halbkugelförmige Windschirm wird symmetrisch um den ersten, kleineren Windschirm angeordnet.

Bei Verwendung eines zweiten Windschirms muss dessen Frequenzgang dokumentiert werden und die Messwerte sind entsprechend zu korrigieren.

6.1.5 Akustischer Kalibrator

Das komplette Geräuschmesssystem, das Aufzeichnungs-, Datenerfassungs- oder Datenverarbeitungssystem eingeschlossen, muss unmittelbar vor und nach der Messung bei einer oder mehreren Frequenzen mit Hilfe eines akustischen Kalibrators am Mikrofon kalibriert werden. Der Kalibrator muss den Anforderungen nach IEC 60942, Klasse 1, entsprechen und darf nur im Rahmen der für ihn festgelegten Umgebungsbedingungen benutzt werden.

6.1.6 Datenaufnahme- und -wiedergabesysteme

Ein Datenaufnahme-/wiedergabesystem ist ein erforderlicher Bestandteil des Messsystems, die gesamte Messkette muss den relevanten Anforderungen der IEC 60651, Klasse 1, entsprechen. Beispiele sind im [Anhang B](#) gegeben.

6.2 Nicht-akustische Messgeräte

Die im Folgenden aufgeführten Messgeräte sind notwendig, um die in dieser Norm dargestellten nicht-akustischen Messungen durchzuführen.

6.2.1 Anemometer

Das Anemometer, die entsprechende Signalverarbeitung eingeschlossen, darf im Windgeschwindigkeitsbereich von 4 m/s bis 12 m/s maximal $\pm 0,2$ m/s von dem Kalibrierungswert abweichen. Es muss geeignet sein, Mittelwerte über Zeiträume zu bilden, die synchron zu denjenigen der akustischen Messungen sind.

Da das Gondelanemometer während der Messung *in-situ* kalibriert ist, bezieht sich die Forderung nach einer Kalibrierung nicht auf den Gondelanemometer. Die Kalibrierung des Gondelanemometers kann vom WEA-Kontrollsystem geliefert werden. Das Gondelanemometer darf nicht für Hintergrundgeräuschmessungen verwendet werden.