

	DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1)	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 27.180 Ersatz für DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2004-08 und DIN EN 61400-1 Berichtigung 1 (VDE 0127-1 Berichtigung 1):2005-12 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 Wind turbines – Part 1: Design requirements (IEC 61400-1:2005); German version EN 61400-1:2005 Eoliennes – Partie 1: Exigences de conception (CEI 61400-1:2005); Version allemande EN 61400-1:2005 Gesamtumfang 90 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2005-10-01 angenommene EN 61400-1 gilt als DIN-Norm ab 2006-07-01.

Daneben dürfen **DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2004-08** und **DIN EN 61400-1 Berichtigung 1 (VDE 0127-1 Berichtigung 1):2005-12** noch bis 2006-11-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2004-12.

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 61400-1 (VDE 0127-1):2004-08** und **DIN EN 61400-1 Berichtigung 1 (VDE 0127-1 Berichtigung 1):2005-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Titel wurde in „Auslegungsanforderungen“ geändert, um darzulegen, dass die Norm Sicherheitsanforderungen und nicht Anforderungen für die Sicherheit oder den Schutz von Personen enthält;
- b) die Bezeichnungen der WEA-Klassen wurden angepasst und beziehen sich jetzt nur noch auf die Referenzwindgeschwindigkeit und den Erwartungswert der Turbulenzintensität;
- c) die Turbulenzmodelle wurden erweitert und enthalten ein extremes Turbulenzmodell;
- d) die Böenmodelle wurden angepasst und vereinfacht;
- e) die Auslegungslastfälle wurden neu geordnet und ergänzt;
- f) die Anwendung turbulenter Simulationen wird hervorgehoben und ein Verfahren für die Extrapolation von Extremlasten wird angegeben;
- g) die Teilsicherheitsbeiwerte wurden angepasst und vereinfacht;
- h) die Teilsicherheitsbeiwerte für Materialien wurden ergänzt und wurden in Abhängigkeit von Materialtypen und Komponentenklassen angegeben;
- i) die Anforderungen an das Betriebsführungs- und Sicherheitssystem wurden ergänzt und im Hinblick auf funktionale Daten erläutert;
- j) ein neuer Abschnitt über die strukturelle und elektrische Verträglichkeit wurde hinzugefügt mit ausführlichen Anforderungen für die Bewertung (Assessment) einschließlich von Angaben zu strukturiertem (komplexem) Gelände, Erdbeben und Windparkeffekten;

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 61400-1 (VDE V 0127-1): 1996-07

DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1): 2004-08

DIN EN 61400-1 Berichtigung 1 (VDE 0127-1 Berichtigung 1): 2005-12

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 nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
Normen der Reihe EN 60034	Normen der Reihe IEC 60034	Normen der Reihe DIN EN 60034 (VDE 0530)	Normen der Reihe VDE 0530
HD 472 S1	IEC 60038	DIN IEC 60038 (VDE 0175)	VDE 0175
Normen der Reihe EN 60146	Normen der Reihe IEC 60146	Normen der Reihe DIN EN 60146 (VDE 0558)	Normen der Reihe VDE 0558
HD 27 S1:1974	IEC 60173:1964	–	–
EN 60204-1:1997	IEC 60204-1:1997 + Corr. 1998-03 ersetzt durch IEC 60204-1:2005	DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):1998-11	VDE 0113-1
EN 60204-11:2000	IEC 60204-11:2000	DIN EN 60204-11 (VDE 0113-11):2001-05	VDE 0113-11
Normen der Reihe HD 21	Normen der Reihe IEC 60227	–	–
Normen der Reihe HD 22	Normen der Reihe IEC 60245	–	–
Normen der Reihe EN 60269	Normen der Reihe IEC 60269	Normen der Reihe DIN VDE 0636 (VDE 0636)	Normen der Reihe VDE 0636
–	Normen der Reihe IEC 60287	–	–
–	Normen der Reihe IEC 60364	Normen der Reihe DIN VDE 0100 (VDE 0100)	Normen der Reihe VDE 0100
Normen der Reihe EN 60439	Normen der Reihe IEC 60439	Normen der Reihe DIN EN 60439 (VDE 0660-504)	Normen der Reihe VDE 0660-504
EN 60446:1999	IEC 60446:1999	DIN EN 60446 (VDE 0198):1999-10	VDE 0198
EN 60529:1991 + A1:2000	IEC 60529:1989 + A1:1999	DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09	VDE 0470-1
Normen der Reihe EN 60617	Normen der Reihe IEC 60617	Normen der Reihe DIN EN 60617	–

DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2006-07

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60721-2-1:1982	DIN IEC 60721-2-1:1992-07	–
–	IEC 60755:1983	–	–
–	IEC 60898:1995	–	–
EN 61000-6-1:2001	IEC 61000-6-1:1997 (modifiziert)	DIN EN 61000-6-1 (VDE 0839-6-1):2002-08	VDE 0839-6-1
EN 61000-6-2:2001 ersetzt durch EN 61000-6-2:2005	IEC 61000-6-2:1999 (modifiziert) ersetzt durch IEC 61000-6-2:2005	DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2):2002-08	VDE 0839-6-2
EN 61000-6-4:2001	IEC 61000-6-4:1997 (modifiziert)	DIN EN 61000-6-4 (VDE 0839-6-4):2002-08	VDE 0839-6-4
ENV 61024-1:1995 zurückgezogen	IEC 61024-1:1990 (modifiziert)	DIN V ENV 61024-1 (VDE V 0185-100):1996-08 zurückgezogen	VDE V 0185-100
EN 61310-1:1995	IEC 61310-1:1995 + Berichtigung 1995	DIN EN 61310-1 (VDE 0113-101):1996-09	VDE 0113-101
EN 61310-2:1995	IEC 61310-2:1995	DIN EN 61310-2 (VDE 0113-102):1996-09	VDE 0113-102
–	IEC 61312-1:1995 (modifiziert)	DIN VDE 0185-103 (VDE 0185-103):1997-09 zurückgezogen	VDE 0185-103
EN 61400-21:2002	IEC 61400-21:2001	DIN EN 61400-21 (VDE 0127-21):2002-11	VDE 0127-21
–	IEC/TR 61400-24:2002	–	–
–	ISO 76:1987	DIN ISO 76:1988-10	–
–	ISO 281:1990	DIN ISO 281:1993-01	–
–	ISO 2394:1998	–	–
–	ISO 2533:1975	DIN ISO 2533:1979-12	–
–	IEC 3010:2001	–	–
–	ISO 4354:1997	–	–
–	Normen der Reihe ISO 6336 (modifiziert)	Normen der Reihe DIN ISO 6336	–
–	ISO 8930:1987	DIN ISO 8930:1991-03	–
EN ISO 9001:2000	ISO 9001:2000	DIN EN ISO 9001:2000-12	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

Normen der Reihe

DIN EN 60034 (VDE 0530), *Drehende elektrische Maschinen*

Normen der Reihe

DIN EN 60146 (VDE 0558), *Halbleiter-Stromrichter – Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter*

DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):1998-11, *Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60204-1:1997 + Corrigendum 1998); Deutsche Fassung EN 60204-1:1997*

DIN EN 60204-11 (VDE 0113-11):2001-05, *Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 11: Anforderungen an Hochspannungsausrüstung für Spannungen über 1 000 V Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung, aber nicht über 36 kV (IEC 60204-11:2000); Deutsche Fassung EN 60204-11:2000*

Normen der Reihe

DIN EN 60439 (VDE 0660-504), *Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen*

DIN EN 60446 (VDE 0198):1999-10, *Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung – Kennzeichnung von Leitern durch Farben oder numerische Zeichen (IEC 60446:1999); Deutsche Fassung EN 60446:1999*

DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000*

Normen der Reihe

DIN EN 60617, *Graphische Symbole für Schaltpläne*

DIN EN 61000-6-1 (VDE 0839-6-1):2002-08, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-1: Fachgrundnorm – Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe (IEC 61000-6-1:1997, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61000-6-1:2001*

DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2):2002-08, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereich (IEC 61000-6-2:1999, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61000-6-2:2001*

DIN EN 61000-6-4 (VDE 0839-6-4):2002-08, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-4: Fachgrundnormen – Störaussendung für Industriebereich (IEC 61000-6-4:1997, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61000-6-4:2001*

DIN EN 61310-1 (VDE 0113-101):1996-09, *Sicherheit von Maschinen – Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen – Teil 1: Anforderungen an sichtbare, hörbare und tastbare Signale (IEC 61310-1:1995 Berichtigung 1995); Deutsche Fassung EN 61310-1:1995*

DIN EN 61310-2 (VDE 0113-102):1996-09, *Sicherheit von Maschinen – Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen – Teil 2: Anforderungen an die Kennzeichnung (IEC 61310-2:1995); Deutsche Fassung EN 61310-2:1995*

DIN EN 61400-21 (VDE 0127-21):2002-11, *Windenergieanlagen – Teil 21: Messung und Bewertung der Netzverträglichkeit von netzgekoppelten Windenergieanlagen (IEC 61400-21:2001); Deutsche Fassung EN 61400-21:2002*

DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2006-07

DIN EN ISO 9001:2000-12, *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2000); Dreisprachige Fassung EN ISO 9001:2000*

DIN IEC 60038 (VDE 0175), IEC-Normspannungen

DIN IEC 60721-2-1:1992-07, *Elektrotechnik – Klassifizierung von Umweltbedingungen – Natürliche Einflüsse, Temperatur und Luftfeuchte (IEC 60721-2-1:1982)*

DIN ISO 76:1988-10, *Wälzlager – Statische Tragzahlen; (ISO 76:1987)*

DIN ISO 281:1993-01, *Wälzlager – Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer; (ISO 281:1990)*

DIN ISO 2533:1979-12, *Normatmosphäre; (ISO 2533:1975)*

Normen der Reihe DIN ISO 6336, *Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern*

DIN ISO 8930:1991-03, *Allgemeine Grundregeln über die Zuverlässigkeit von Tragwerken – Liste äquivalenter Begriffe (ISO 8930:1987)*

Normen der Reihe

DIN VDE 0100 (VDE 0100), *Errichten von Niederspannungsanlagen*

Normen der Reihe

DIN VDE 0636 (VDE 0636), *Niederspannungssicherungen – Allgemeine Festlegungen*

Windenergieanlagen
Teil 1: Auslegungsanforderungen
(IEC 61400-1:2005)

Wind turbines
Part 1: Design requirements
(IEC 61400-1:2005)

Eoliennes
Partie 1: Exigences de conception
(CEI 61400-1:2005)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2005-10-01 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, 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

© 2005 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61400-1:2005 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 88/228/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe von IEC 61400-1, ausgearbeitet von dem IEC/TC 88 „Wind Turbines“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2005-10-01 als EN 61400-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 61400-1:2004.

Die wesentlichen Änderungen gegenüber EN 61400-1:2004 sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Titel wurde in „Auslegungsanforderungen“ geändert, um darzulegen, dass die Norm Sicherheitsanforderungen und nicht Anforderungen für die Sicherheit oder den Schutz von Personen enthält;
- die Bezeichnungen der WEA-Klassen wurden angepasst und beziehen sich jetzt nur noch auf die Referenzwindgeschwindigkeit und den Erwartungswert der Turbulenzintensität;
- die Turbulenzmodelle wurden erweitert und enthalten ein extremes Turbulenzmodell;
- die Böenmodelle wurden angepasst und vereinfacht;
- die Auslegungslastfälle wurden neu geordnet und ergänzt;
- die Anwendung turbulenter Simulationen wird hervorgehoben und ein Verfahren für die Extrapolation von Extremlasten wird angegeben;
- die Teilsicherheitsbeiwerte wurden angepasst und vereinfacht;
- die Teilsicherheitsbeiwerte für Materialien wurden ergänzt und wurden in Abhängigkeit von Materialtyp und Komponentenklasse angegeben;
- die Anforderungen an das Betriebsführungs- und Sicherheitssystem wurden ergänzt und im Hinblick auf funktionale Daten erläutert;
- ein neuer Abschnitt über die strukturelle und elektrische Verträglichkeit wurde hinzugefügt mit ausführlichen Anforderungen für die Bewertung (Assessment) einschließlich von Angaben zu strukturiertem (komplexem) Gelände, Erdbeben und Windparkeffekten.

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): 2006-07-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2006-11-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61400-1:2005 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60034	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60034 (nicht modifiziert).
IEC 60038	ANMERKUNG	Harmonisiert als HD 472 S1:1989 (modifiziert).
IEC 60146	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60146 (nicht modifiziert).
IEC 60173	ANMERKUNG	Harmonisiert als HD 27 S1:1978 (nicht modifiziert).
IEC 60227	ANMERKUNG	Die Reihe HD 21 steht in Beziehung zu der Reihe IEC 60227, ist aber nicht identisch.
IEC 60245	ANMERKUNG	Die Reihe HD 22 steht in Beziehung zu der Reihe IEC 60245, ist aber nicht identisch.
IEC 60269	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN/HD 60269 (modifiziert).
IEC 60439	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60439 (nicht modifiziert).
IEC 60446	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60446:1999 (nicht modifiziert).
IEC 60529	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60529:1991 (nicht modifiziert).
IEC 60898	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60898 (modifiziert).
IEC 61310-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61310-1:1995 (nicht modifiziert).
IEC 61310-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61310-2:1995 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe.....	9
4 Formelzeichen und Abkürzungen.....	16
4.1 Formelzeichen und Einheiten	16
4.2 Abkürzungen.....	18
5 Grundsätze	19
5.1 Allgemeines	19
5.2 Auslegungsmethoden	19
5.3 Sicherheitsklassen	19
5.4 Qualitätssicherung	19
5.5 Typschild der WEA	20
6 Externe Bedingungen	20
6.1 Allgemeines	20
6.2 WEA-Klassen.....	20
6.3 Windbedingungen	22
6.4 Sonstige Umweltbedingungen.....	29
6.5 Elektrische Netzbedingungen.....	31
7 Strukturauslegung.....	31
7.1 Allgemeines	31
7.2 Methodologie der Strukturauslegung.....	31
7.3 Lasten	31
7.4 Betriebsbedingungen und Auslegungslastfälle	32
7.5 Lastberechnungen	37
7.6 Teilsicherheitsbeiwerte	38
8 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	43
8.1 Allgemeines	43
8.2 Betriebsführungsfunktionen	43
8.3 Sicherheitsfunktionen	44
8.4 Bremssystem	45
9 Mechanische Systeme.....	45
9.1 Allgemeines	45
9.2 Montagefehler	46
9.3 Hydraulische oder pneumatische Systeme	46
9.4 Getriebe	46
9.5 Giersystem.....	46

	Seite
9.6 Blattverstellsystem.....	47
9.7 Mechanische Bremsen im Sicherheitssystem.....	47
9.8 Wälzlager.....	47
10 Elektrische Anlage.....	47
10.1 Allgemeines	47
10.2 Allgemeine Anforderungen an die elektrische Anlage	48
10.3 Schutzeinrichtungen	48
10.4 Trenneinrichtungen.....	48
10.5 Erdungssystem.....	48
10.6 Blitzschutz	48
10.7 Elektrische Leiter	48
10.8 Selbsterregung	49
10.9 Schutz vor elektromagnetischem Impuls durch Blitz.....	49
10.10 Netzverträglichkeit.....	49
10.11 Elektromagnetische Verträglichkeit.....	49
11 Nachweis der strukturellen und elektrischen Eignung einer WEA für standortspezifische Bedingungen	49
11.1 Allgemeines	49
11.2 Nachweis der topographischen Komplexität des Standortes.....	50
11.3 Für den Nachweis benötigte Windbedingungen	50
11.4 Bewertung der Einflüsse vom Nachlauf benachbarter WEA.....	51
11.5 Bewertung sonstiger Umweltbedingungen.....	51
11.6 Bewertung der Erdbebenbedingungen	52
11.7 Bewertung der elektrischen Netzbedingungen	53
11.8 Bewertung der Bodenverhältnisse	53
11.9 Nachweis der Integrität der Konstruktion mit Bezug auf Winddaten.....	53
11.10 Nachweis der Integrität der Konstruktion durch Lastberechnungen mit Bezug auf standortspezifische Bedingungen	54
12 Installation, Endmontage und Errichtung	55
12.1 Allgemeines	55
12.2 Planung.....	55
12.3 Installationsbedingungen.....	56
12.4 Zugang zum Standort.....	56
12.5 Umweltbedingungen.....	56
12.6 Dokumentation	56
12.7 Annahme, Handhabung und Lagerung	56
12.8 Fundament/Verankerungssysteme	57
12.9 Endmontage der WEA.....	57
12.10 Errichtung der WEA.....	57
12.11 Befestigungselemente und Halterungen	57

	Seite
12.12 Krane, Hebezeuge und Hebevorrichtungen	57
13 Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung	57
13.1 Allgemeines	57
13.2 Anforderung an die Konstruktion für sicheren Betrieb, Inspektionen und Wartung	58
13.3 Anweisungen für die Inbetriebnahme	58
13.4 Handbuch für den Betreiber	59
13.5 Wartungshandbuch	61
Anhang A (normativ) Auslegungsparameter zur Beschreibung der WEA-Klasse S	62
Anhang B (informativ) Turbulenzmodelle	63
Anhang C (informativ) Nachweis der Erdbebenbelastung	68
Anhang D (informativ) Nachlauf und Windparkturbulenz	69
Anhang E (informativ) Vorhersage der Windverteilung für WEA-Standorte mit Messung-Korrelation- Vorhersage(Measure-Correlate-Predict – MCP)-Verfahren	71
Anhang F (informativ) Statistische Extrapolation von Lasten für den Tragfähigkeitsnachweis	73
Anhang G (informativ) Betriebsfestigkeitsberechnung mit der Miner-Regel mit Lastenextrapolation	76
Literaturhinweise	81
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	83
 Bild 1a – Standardabweichung der Turbulenz für das normale Turbulenzmodell (NTM)	 24
Bild 1b – Turbulenzintensität des normalen Turbulenzmodells (NTM)	24
Bild 2 – Beispiel einer extremen Betriebsbö	26
Bild 3 – Beispiel des Verlaufes der extremen Windrichtungsänderung	27
Bild 4 – Beispiel des Zeitverlaufes der extremen Windrichtungsänderung	27
Bild 5 – Beispiel der Amplitude einer extremen kohärenten Bö für ECD	27
Bild 6 – Richtungsänderung für ECD	28
Bild 7 – Beispiel des Zeitverlaufes der Richtungsänderung	28
Bild 8 – Beispiel eines extremen positiven und negativen vertikalen Windgradienten, Windprofil vor Beginn ($t = 0$, gestrichelt) und bei maximalem Gradienten ($t = 6$ s, durchgezogen)	29
Bild 9 – Beispiel des Zeitverlaufes der Windgeschwindigkeit am oberen und unteren Punkt des Rotors zur Darstellung des transienten positiven Windgradienten	29
Bild D.1 – Windparkanordnung innerhalb eines Windparks mit mehr als 2 Reihen	70
Bild F.1 – Überschreitenswahrscheinlichkeit der größten Blattbiegebelastung in Schlagrichtung in 10 min (normalisiert mit der mittleren Biegelast bei Nennwindgeschwindigkeit)	75
 Tabelle 1 – Grundparameter für WEA-Klassen	 21
Tabelle 2 – Auslegungslastfälle	33
Tabelle 3 – Teilsicherheitsbeiwerte für die Lasten γ_f	40
Tabelle 4 – Bewertung von komplexem Gelände	50
Tabelle B.1 – Spektrale Parameter der Turbulenz für das Kaimal-Modell	67

Einleitung

Dieser Teil der IEC 61400 zeigt die Mindestanforderungen für die Sicherheit von Windenergieanlagen auf und ist nicht als vollständige Entwurfsgrundlage oder als Bedienungsanleitung gedacht.

Jede Forderung der Norm kann unerfüllt bleiben, wenn in geeigneter Form nachgewiesen werden kann, dass die Sicherheit der Anlage nicht gefährdet ist. Dieser Verzicht gilt jedoch nicht für die Klassifizierung und die dazugehörigen Definitionen der externen Bedingungen in [Abschnitt 6](#). Konformität mit dieser Norm entbindet keine Person, Organisation oder Firma von der Verantwortung, andere anzuwendende Regularien zu beachten.

Es ist nicht beabsichtigt, in dieser Internationalen Norm Anforderungen für Offshore-Windenergieanlagen, speziell nicht für die Tragstruktur anzugeben. Es wird ein Dokument für Offshore-Installationen erstellt.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der EN 61400 behandelt die wesentlichen Auslegungsanforderungen zur Sicherstellung der technischen Integrität von Windenergieanlagen (WEA). Der Zweck der Norm besteht darin, für ein angemessenes Schutzniveau gegen Schäden aus Risiken während der geplanten Lebensdauer zu sorgen.

Die Norm gilt für alle WEA-Komponenten, wie Betriebsführungs- und Sicherheitssysteme, interne elektrische Systeme, mechanische Systeme und die tragenden Strukturen.

Die Norm gilt für WEA jeder Größe. Für kleine Windenergieanlagen kann **EN 61400-2** angewendet werden.

Die vorliegende Norm sollte in Verbindung mit den entsprechenden IEC/ISO-Normen, die in Abschnitt 2 angegeben sind, angewandt werden.

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 60204-1:1997, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60204-11:2000, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV*

IEC 60364 (alle Teile), *Electrical installations of buildings*

IEC 60721-2-1:1982, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

IEC 61000-6-1:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 1: Immunity for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC 61000-6-2:1999, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 2: Immunity for industrial environments*

IEC 61000-6-4:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 4: Emission standard for industrial environments*

IEC 61024-1:1990, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

IEC 61312-1:1995, *Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 1: General principles*

IEC 61400-21:2001, *Wind turbine generator systems – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines*

IEC 61400-24: 2002, *Wind turbine generator systems – Part 24: Lightning protection*

ISO 76:1987, *Rolling bearings – Static load ratings*

ISO 281:1990, *Rolling bearings – Dynamic load ratings and rating life*

ISO 2394:1998, *General principles on reliability for structures*

ISO 2533:1975, *Standard Atmosphere*

ISO 4354:1997, *Wind actions on structures*

ISO 6336 (all parts), *Calculation of load capacity of spur and helical gears*

ISO 9001:2000, *Quality management systems – Requirements*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Jahresmittel

Mittelwert aus einer Messdatenmenge ausreichender Größe und Dauer zur Bestimmung des Erwartungswertes der Daten. Die Mittlungsdauer sollte ein ganzzahliges Vielfaches von Jahren sein, damit der Mittelwert nicht saisonal beeinflusst wird.

3.2

Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (V_{ave})

Windgeschwindigkeit, für die der Mittelwert entsprechend der Definition des Jahresmittels gebildet wurde

3.3

automatische Wiedereinschaltzeitdauer

Vorgang mit einer Zeitdauer von etwa 0,01 Sekunden bis zu einigen Sekunden, während der ein Netzschütz wieder aufschaltet, wenn das Netz nach einem Fehler automatisch wieder eingeschaltet wurde

3.4

Arretierung (einer WEA)

Verwendung eines Bolzens oder einer anderen Vorrichtung, die nicht versehentlich gelöst werden kann (jedoch nicht die normale mechanische Bremse), um Bewegungen, zum Beispiel der Rotorwelle oder des Giermechanismus, zu verhindern

3.5

Bremse (einer WEA)

Einrichtung, die zum Reduzieren der Rotordrehzahl oder zum Stoppen der Drehbewegung geeignet ist

ANMERKUNG Die Bremse kann auf aerodynamische, mechanische oder elektrische Weise funktionieren.

3.6

charakteristischer Wert

Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht erreicht wird (d. h. eine Überschreitungswahrscheinlichkeit, die kleiner oder gleich dem vorgegebenen Wert ist)

3.7

stark gegliedertes (komplexes) Gelände

Umgebung, die erhebliche Veränderungen der Topographie und Geländehindernisse aufweist, die eine Störung der Luftströmung verursachen können

3.8

Betriebsführungsfunktionen (einer WEA)

Funktionen des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems, das auf der Basis von Informationen über den Zustand der WEA und/oder ihrer Umgebung die Anlage so betreibt, dass sie ihre Betriebsgrenzwerte einhält

3.9

Einschaltwindgeschwindigkeit (V_{in})

niedrigste mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe, bei der die WEA im Falle stationären Windes ohne Turbulenz beginnen soll, Nutzleistung zu erzeugen

3.10

Abschaltwindgeschwindigkeit (V_{out})

größte mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe, für die die WEA im Falle stationären Windes ohne Turbulenz zur Erzeugung von Nutzleistung ausgelegt ist

3.11

Auslegungsgrenzwerte

für die Auslegung verwendete Höchst- oder Mindestwerte

3.12

verborgener Fehler (auch als latenter Fehler bekannt)

Fehler an einer Komponente, der bei bestimmungsgemäßem Betrieb unentdeckt bleibt

3.13

Lee

in Richtung der Hauptwindströmung

3.14

elektrisches Versorgungsnetz

besondere Einrichtungen, Stationen, Kabel oder Leitungen zur Übertragung und Verteilung von elektrischer Energie

ANMERKUNG Die Grenzen der verschiedenen Versorgungsnetze werden durch geeignete Kriterien definiert, wie geographische Lage, Eigentum, Spannung usw.

3.15

Notabschaltung (einer WEA)

schnelle Abschaltung der WEA, ausgelöst von einem Sicherheitssystem oder durch Eingriff von Hand

3.16

Umweltbedingungen

Umweltparameter (Wind, Höhenlage, Temperatur, Feuchtigkeit usw.), die das Betriebsverhalten der WEA beeinflussen können

3.17

externe Bedingungen (einer WEA)

Faktoren, die den Betrieb einer WEA beeinflussen, einschließlich der Umweltbedingungen (Temperatur, Schnee, Eis usw.) und der elektrischen Netzbedingungen

3.18

extreme Windgeschwindigkeit

höchste mittlere Windgeschwindigkeit, gemittelt über t Sekunden, mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $1/N$ („Wiederkehrzeitraum“: N Jahre)

ANMERKUNG In der vorliegenden Norm werden Wiederkehrzeiträume von $N = 50$ Jahre und $N = 1$ Jahr sowie Zeiten für die Mittelwertbildung von $t = 3$ s und $t = 10$ min verwendet. Umgangssprachlich wird häufig der weniger genaue Terminus „Überlebenswindgeschwindigkeit“ benutzt. In der vorliegenden Norm wird die WEA jedoch in den Auslegungslastfällen für die extreme Windgeschwindigkeit ausgelegt.

3.19

Fail-safe

Konstruktionseigenschaft einer Komponente, mit der verhindert wird, dass sich Fehler zu kritischen Ausfällen ausweiten

3.20

Bö

zeitweilige Änderung der Windgeschwindigkeit

ANMERKUNG Eine Bö kann mit ihrer Anstiegszeit, ihrer Überhöhung und ihrer Dauer beschrieben sein.

3.21

Horizontalachs-WEA

WEA, deren Rotorachse im Wesentlichen horizontal ist

3.22**Nabe**

Bauteil zur Befestigung der Rotorblätter oder der Rotorblattbaugruppe an der Rotorwelle

3.23**Nabenhöhe (einer WEA) (z_{hub})**

Höhe des Mittelpunktes der überstrichenen Fläche des WEA-Rotors über der Geländeoberfläche (siehe 3.51, überstrichene Rotorfläche)

3.24**Leerlauf (einer WEA)**

Betriebszustand einer WEA, die sich langsam dreht und keine Leistung erzeugt

3.25**Trägheitsbereich**

Frequenzintervall des Windturbulenzspektrums, in dem Wirbel – nach Erreichen der Isotropie – mit vernachlässigbarem Energieverlust nacheinander zerfallen

ANMERKUNG Bei einer typischen Windgeschwindigkeit von 10 m/s erstreckt sich der Trägheitsbereich etwa von 0,2 Hz bis 1 kHz.

3.26**Grenzzustand**

Zustand einer Struktur und der auf sie einwirkenden Belastungen, bei deren Überschreitung sie nicht mehr den Auslegungsanforderungen entspricht

[ISO 2394, modifiziert]

ANMERKUNG Der Zweck von Konstruktionsberechnungen (d. h. die Auslegungsanforderung für den Grenzzustand) besteht darin, die Wahrscheinlichkeit, dass ein Grenzzustand erreicht wird, unter einem für die Anlage vorgeschriebenen Wert zu halten (siehe ISO 2394).

3.27**logarithmisches Windprofil**

siehe 3.62

3.28**mittlere Windgeschwindigkeit**

statistisches Mittel des Momentanwertes der Windgeschwindigkeit, gemittelt über einen gegebenen Zeitraum von einigen Sekunden bis zu vielen Jahren

3.29**Maschinenhaus (Gondel)**

Gehäuse, das den Antriebsstrang und weitere Komponenten auf dem Turm einer WEA mit horizontaler Achse enthält

3.30**Netzanschlusspunkt (einer WEA)**

Kabelanschlussstelle einer einzelnen WEA oder für einen Windpark die Anschlussstelle des örtlichen Netzes

3.31**Netzausfall**

Ausfall des Netzes für einen Zeitraum, der größer ist als die in der Betriebsführung vorgesehene Periode, die die WEA am Netz bleiben soll

3.32**normale Abschaltung (einer WEA)**

Abschaltung, bei der alle Vorgänge durch das Betriebsführungssystem kontrolliert werden

3.33

Betriebsgrenzen

Bedingungen, die vom Konstrukteur der WEA festgelegt wurden und die Aktivierung der Betriebsführungs- und Sicherheitssysteme bestimmen

3.34

geparkte WEA

in Abhängigkeit von der Konstruktion bezeichnet geparkt entweder eine gestoppte Anlage oder eine im Leerlauf

3.35

Energiesammelanlage (einer WEA)

elektrisches Netz, das die Energie von einer oder mehreren WEA abnimmt. Eingeschlossen ist die gesamte elektrische Ausrüstung zwischen dem Kabelanschlusspunkt der WEA und dem Netzanschlusspunkt.

3.36

exponentielles Windprofil

siehe [3.62](#)

3.37

Leistungsabgabe

von einer Einrichtung in einer spezifischen Form und für einen spezifischen Zweck abgegebene Leistung

ANMERKUNG (für WEA) Die von einer WEA abgegebene elektrische Leistung.

3.38

Sicherheitsfunktionen (einer WEA)

Funktionen des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems, die sicherstellen, dass eine WEA innerhalb ihrer Auslegungsgrenzen betrieben wird

3.39

Bemessungsleistung

eine im Allgemeinen von einem Hersteller für eine Komponente, eine Einrichtung oder ein Betriebsmittel für eine festgelegte Betriebsbedingung zugeordnete Leistungsgröße

ANMERKUNG (für WEA) Höchste elektrische Dauer-Leistungsabgabe, für die eine WEA unter bestimmungsgemäßen Betriebs- und externen Bedingungen ausgelegt ist.

3.40

Bemessungswindgeschwindigkeit (V_r)

minimale Windgeschwindigkeit, bei der die Bemessungsleistung einer WEA im Falle stationären Windes ohne Turbulenz erreicht wird

3.41

Rayleigh-Verteilung (P_R)

Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion, siehe [3.63](#)

3.42

Bezugswindgeschwindigkeit (V_{ref})

Grundlagenparameter der Windgeschwindigkeit, der zur Definition von Typenklassen verwendet wird. Weitere für die Auslegung relevante Klimaparameter werden von der Bezugswindgeschwindigkeit und anderen grundlegenden Klassenparametern abgeleitet (siehe [Abschnitt 6](#)).

ANMERKUNG Eine für eine Typenklasse mit einer Bezugswindgeschwindigkeit V_{ref} konstruierte Anlage ist so ausgelegt, dass sie Umweltbedingungen aushält, bei denen das 10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren in Nabenhöhe kleiner oder gleich V_{ref} ist.

3.43

rotatorische Erfassung der Windgeschwindigkeit

Windgeschwindigkeit, die an einem Punkt des sich drehenden WEA-Rotors auftritt

ANMERKUNG Das Turbulenzspektrum einer rotatorischen Erfassung der Windgeschwindigkeit unterscheidet sich deutlich vom freien Turbulenzspektrum. Das Rotorblatt erfährt beim Rotieren eine Anströmung, die sich räumlich verändert. Somit wird das sich ergebende Turbulenzspektrum beträchtliche Varianzen mit Rotationsfrequenz und deren Harmonischen enthalten.

3.44

Rotordrehzahl (einer WEA)

Drehzahl eines WEA-Rotors um seine Achse

3.45

Rauigkeitslänge (z_0)

extrapolierte Höhe, bei der die mittlere Windgeschwindigkeit null wird, wenn vorausgesetzt wird, dass sich das vertikale Windprofil logarithmisch mit der Höhe verändert

3.46

planmäßige Wartung

vorbeugende Wartung, die nach einem festgelegten Zeitplan durchgeführt wird

3.47

Standortdaten

Umgebungs-, seismische, Boden- und elektrische Daten des WEA-Standortes. Winddaten müssen 10-min-Werte sein, falls nichts anderes angegeben ist

3.48

Stillstand

Zustand einer gestoppten WEA

3.49

tragende Struktur (einer WEA)

Teil einer WEA, der den Turm und das Fundament umfasst

3.50

Überlebenswindgeschwindigkeit

populäre Bezeichnung für die höchste Windgeschwindigkeit, für die eine Konstruktion ausgelegt ist

ANMERKUNG In der vorliegenden Norm wird der Ausdruck nicht verwendet. Die Auslegungsbedingungen beziehen sich dafür auf die extreme Windgeschwindigkeit (siehe 3.18).

3.51

überstrichene Rotorfläche

senkrecht zur Windgeschwindigkeit verlaufende Projektionsfläche, die der Rotor bei einer vollständigen Umdrehung beschreibt

3.52

Turbulenzintensität (I)

Verhältnis der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit zur mittleren Windgeschwindigkeit, beide aus denselben Windgeschwindigkeits-Messdaten bestimmt, die in einem angegebenen Zeitraum ermittelt wurden

3.53

Turbulenzlängenparameter (λ_1)

Wellenlänge, bei der die dimensionslose longitudinale Leistungsspektraldichte gleich 0,05 ist

ANMERKUNG Die Wellenlänge ist damit definiert als $\lambda_1 = V_{\text{hub}} / f_0$, mit $f_0 S_1(f_0) / \sigma_1^2 = 0,05$.

3.54

Standardabweichung der Turbulenz (σ_1)

Standardabweichung der longitudinalen Komponente der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe

3.55

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Grenzzustände, die im Allgemeinen mit der Traglast korrespondieren

[ISO 2394, modifiziert]

3.56

außerplanmäßige Wartung

Wartung, die nicht in Übereinstimmung mit einem festgelegten Zeitplan erfolgt, sondern nach Empfang einer Meldung im Hinblick auf den Zustand einer Komponente

3.57

Luv

entgegen der Richtung der Hauptwindströmung

3.58

Vertikalachs-WEA

WEA, deren Rotorachse vertikal ausgerichtet ist

3.59

Weibull-Verteilung (P_W)

Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion, siehe [3.63](#)

3.60

Windpark

siehe 3.61

3.61

Windkraftwerk

Gruppe oder Gruppen von WEA, im Allgemeinen Windpark genannt

3.62

Windprofil – Windgradient

mathematischer Ausdruck für die angenommene Windgeschwindigkeitsänderung mit der Höhe über der Geländeoberfläche

ANMERKUNG Üblicherweise werden das logarithmische Profil (Gleichung 1) oder das exponentielle Profil (Gleichung 2) verwendet.

$$V(z) = V(z_r) \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (1)$$

$$V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (2)$$

Dabei ist:

$V(z)$ Windgeschwindigkeit in der Höhe z ;

z Höhe über Geländeoberfläche;

z_r Bezugshöhe über Grund, die zur Definition des Wind-Profils verwendet wird;

z_0 Rauigkeitslänge;

α Höhenexponent.

3.63**Windgeschwindigkeitsverteilung**

Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion, die zur Beschreibung von Windgeschwindigkeiten über einen längeren Zeitraum verwendet wird

ANMERKUNG Häufig verwendete Verteilungsfunktionen sind die Rayleigh-Funktion, $P_R(V_0)$, und die Weibull-Funktion, $P_W(V_0)$.

$$P_R(V_0) = 1 - \exp\left[-\pi(V_0 / 2V_{\text{ave}})^2\right] \quad (3)$$

$$P_W(V_0) = 1 - \exp\left[-(V_0 / C)^k\right]$$

$$\text{mit } V_{\text{ave}} = \begin{cases} C\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ \frac{C\sqrt{\pi}}{2}, \text{ wenn } k = 2 \end{cases} \quad (4)$$

Dabei ist:

$P(V_0)$ kumulative Wahrscheinlichkeitsfunktion, d. h. die Wahrscheinlichkeit, dass $V < V_0$;

V_0 Windgeschwindigkeit (Grenzwert);

V_{ave} Mittelwert der Windgeschwindigkeit V ;

C Skalierungsparameter der Weibull-Funktion;

k Formparameter der Weibull-Funktion;

Γ Gammafunktion.

C und k können aus realen Daten abgeleitet werden. Die Rayleigh-Funktion ist identisch mit der Weibull-Funktion, wenn $k = 2$ gewählt wird und C und V_{ave} die Bedingung erfüllen, die in Gleichung (4) für $k = 2$ angegeben ist.

Die Verteilungsfunktionen geben die kumulative Wahrscheinlichkeit an, dass die Windgeschwindigkeit kleiner als V_0 ist. Daraus folgt, dass $(P(V_1) - P(V_2))$ den Anteil der Zeit angibt, in dem sich die Windgeschwindigkeit innerhalb der Grenzen V_1 und V_2 bewegt. Nach Ableitung der Verteilungsfunktionen erhält man die entsprechenden Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktionen.

3.64**Windgradient**

Änderung der Windgeschwindigkeit über einer senkrecht zur Windrichtung verlaufenden Ebene

3.65**Höhenexponent (α)**

auch bekannt als Exponent des exponentiellen Windprofils, siehe [3.62](#)

3.66**Windgeschwindigkeit (V)**

Geschwindigkeit der einen festgelegten Punkt umgebenden sehr kleinen Luftmenge

ANMERKUNG Die Windgeschwindigkeit ist auch die Länge des örtlichen Windgeschwindigkeitsvektors (siehe [3.69](#)).

3.67**Windenergieanlage (WEA)**

Anlage, die die kinetische Energie des Windes in elektrische Energie umwandelt

3.68

WEA-Standort

Standort einer einzelnen Windenergieanlage entweder allein oder in einem Windpark

3.69

Windgeschwindigkeitsvektor

Vektor der Geschwindigkeit der einen ortsfesten Punkt umgebenden sehr kleinen Luftmenge. Die Länge des Vektors ist gleich der Geschwindigkeit dieser kleinen Luftmenge (d. h. die örtliche Windgeschwindigkeit).

ANMERKUNG Der Vektor an irgendeinem Punkt ist demzufolge die zeitliche Ableitung des Ortsvektors der kleinen Luftmenge, die sich durch diesen Punkt bewegt.

3.70

elektrisches System der WEA

elektrische Ausrüstung einer WEA bis zu und einschließlich der Anschlüsse, einschließlich der Ausrüstung für Erdung, Potentialausgleich und Fernmeldewesen. Leiter innerhalb einer WEA, die als spezielle Erder der WEA verwendet werden, sind ebenfalls eingeschlossen.

3.71

Anschlusspunkte der WEA

Punkt oder Punkte, die vom WEA-Lieferanten benannt werden, an denen die WEA mit der Energiesammelanlage verbunden werden kann. Das schließt die Verbindungen zur Übertragung von Energie und Daten ein.

3.72

Gierbewegung

Drehung der Rotorachse um eine vertikale Achse (nur für WEA mit horizontaler Achse)

3.73

Gierfehler

horizontale Abweichung der Rotorachse der WEA von der Windrichtung

4 Formelzeichen und Abkürzungen

4.1 Formelzeichen und Einheiten

C	Skalierungsparameter der Weibull-Funktion	[m/s]
C_{CT}	Korrekturfaktor für die Turbulenzstruktur	
C_T	Schubkoeffizient	
Coh	Kohärenzfunktion	
D	Rotordurchmesser	[m]
f	Frequenz	[s ⁻¹]
f_d	Bemessungswert des Materialwiderstandes	[-]
f_k	charakteristischer Wert des Materialwiderstandes	[-]
F_d	Bemessungslast	[-]
F_k	charakteristische Last	[-]
I_{ref}	Erwartungswert der Turbulenzintensität in Nabenhöhe für eine mittlere Windgeschwindigkeit von 15 m/s	[-]
I_{eff}	effektive Turbulenzintensität	[-]
k	Formparameter der Weibull-Funktion	[-]
K	modifizierte Besselfunktion	[-]
L	isotroper, integraler Turbulenzlängenparameter	[m]

L_e	Skalierungsparameter der Kohärenz	[m]
L_k	integraler Längenparameter der Geschwindigkeitskomponente	[m]
m	Wöhlerexponent	[–]v
n_i	gezählte Anzahl von Lastwechseln im Bin i	[–]
$N(.)$	Anzahl von Lastwechseln bis zum Versagen als Funktion von Spannung (oder Dehnung), angegeben durch das Argument (d. h. die charakteristische Wöhlerkurve)	[–]
N	Wiederkehrzeitraum für extreme Bedingungen	[a]
p	Überlebenswahrscheinlichkeit	[–]
$P_R(V_0)$	Rayleigh-Wahrscheinlichkeitsverteilung, d. h. die Wahrscheinlichkeit, dass $V < V_0$	[–]
$P_W(V_0)$	Weibull-Wahrscheinlichkeitsverteilung	[–]
r	Länge der Projektion des Trennungsvektors	[m]
s_i	Spannungs-(oder Dehnungs-)Niveau der gezählten Anzahl der Lastwechsel in Bin i	[–]
$S_1(f)$	Leistungsspektraldichtefunktion der longitudinalen Geschwindigkeitskomponente	[m ² /s]
S_k	einseitiges Kollektiv der Geschwindigkeitskomponente	[m ² /s]
T	charakteristische Böendauer	[s]
t	Zeit	[s]
V	Windgeschwindigkeit	[m/s]
$V(z)$	Windgeschwindigkeit in der Höhe z	[m/s]
V_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	[m/s]
V_{cg}	Extremwert der kohärenten Bö über die gesamte vom Rotor überstrichene Fläche	[m/s]
V_{eN}	zu erwartende extreme Windgeschwindigkeit (über 3 s gemittelt) mit einem Wiederkehrzeitraum von N Jahren. V_{e1} und V_{e50} mit 1 bzw. 50 Jahren	[m/s]
V_{gust}	größter Böenwert mit einem zu erwartenden Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren	[m/s]
V_{hub}	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	[m/s]
V_{in}	Einschaltwindgeschwindigkeit	[m/s]
V_0	Grenzwert der Windgeschwindigkeit im Verteilungsmodell der Windgeschwindigkeit	[m/s]
V_{out}	Abschaltwindgeschwindigkeit	[m/s]
V_r	Bemessungswindgeschwindigkeit	[m/s]
V_{ref}	Bezugswindgeschwindigkeit	[m/s]
$V(y, z, t)$	longitudinale Komponente der Windgeschwindigkeit zur Beschreibung des horizontalen Windgradienten	[m/s]
$V(z, t)$	longitudinale Komponente der Windgeschwindigkeit zur Beschreibung der transienten Änderung der extremen Böen und Windgradienten	[m/s]
x, y, z	Koordinatensystem zur Beschreibung des Windfeldes, in Windrichtung (längs), quer zur Windrichtung (transversal) und aufwärts	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der WEA	[m]
z_r	Bezugshöhe über der Geländeoberfläche	[m]
z_0	Rauigkeitslänge für das logarithmische Windprofil	[m]

α	Höhenexponent für das exponentielle Windprofil	[–]
β	Parameter für das Modell der extremen Windrichtungsänderung	[–]
δ	Variationskoeffizient	[–]
Γ	Gammafunktion	[–]
γ	Teilsicherheitsbeiwert für die Lasten	[–]
γ_m	Teilsicherheitsbeiwert für die Materialien	[–]
γ_n	Teilsicherheitsbeiwert für die Folgen eines Versagens	[–]
$\theta(t)$	zeitlicher Verlauf der Windrichtungsänderung	[°]
θ_{cg}	größte Winkelabweichung während einer Bö von der Richtung der mittleren Windgeschwindigkeit	[°]
θ_e	größte Windrichtungsänderung mit einem Wiederkehrzeitraum von N Jahren	[°]
Λ_1	Turbulenzlängenparameter, definiert als Wellenlänge, bei der die dimensionslose longitudinale Leistungsspektraldichte, $f S_1(f)/\sigma_1^2$, gleich 0,05 ist	[m]
$\hat{\sigma}$	Schätzwert der Standardabweichung der Turbulenz	[m/s]
$\hat{\sigma}_{eff}$	effektiver Schätzwert der Standardabweichung der Turbulenz	[m/s]
σ_{wake}	Standardabweichung der Turbulenz im Nachlauf	[m/s]
$\hat{\sigma}_T$	größter Wert der Standardabweichung der Turbulenz in der Mitte des Nachlaufes	[m/s]
$\hat{\sigma}_\sigma$	Standardabweichung des Schätzwertes der Standardabweichung der Turbulenz $\hat{\sigma}$	[m/s]
σ_1	Standardabweichung der longitudinalen Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	[m/s]
σ_2	Standardabweichung der transversalen Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	[m/s]
σ_3	Standardabweichung der vertikalen Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	[m/s]
$E\langle \rangle$	Erwartungswert des Parameters in den Klammern	[–]
$Var\langle \rangle$	Varianz des Parameters in den Klammern	[–]

4.2 Abkürzungen

A	anormal (für Teilsicherheitsbeiwerte)
ac	Wechselstrom
dc	Gleichstrom
DLC	Auslegungslastfall
ECD	extreme kohärente Bö mit Richtungsänderung
EDC	extreme Windrichtungsänderung
EOG	extreme Betriebsbö
ETM	extremes Windturbulenzmodell
EWM	extremes Windgeschwindigkeitsmodell
EWS	extremer Windgradient
F	Betriebsfestigkeit
N	normal und extrem (für Teilsicherheitsbeiwerte)
NWP	normales Windprofilmodell
NTM	normales Windturbulenzmodell

S	besondere IEC-WEA-Klasse S
T	Transport und Errichtung (für Teilsicherheitsbeiwerte)
U	Tragfähigkeit

5 Grundsätze

5.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Abschnitten sind Anforderungen an die Auslegung und die Technik angegeben, um die Sicherheit der strukturellen, mechanischen, elektrischen sowie der Steuer- und Regelsysteme der WEA zu gewährleisten. Die angegebenen Anforderungen sind anwendbar auf Konstruktion, Fertigung, Errichtung und Handbücher für Betrieb und Wartung einer WEA und das damit verbundene Qualitätsmanagement. Darüber hinaus sind die in den unterschiedlichen Technikbereichen angewandten Sicherheitsvorschriften für die Bereiche Errichtung, Betrieb und Wartung von WEA zu berücksichtigen.

5.2 Auslegungsmethoden

Diese Norm verlangt die Verwendung eines dynamischen Strukturmodells zur Ermittlung der Bemessungslasten. Mit diesem Modell sollen die Lasten über einen Bereich von Windgeschwindigkeiten bestimmt werden. Dabei sind die Turbulenzbedingungen und andere extreme Windbedingungen, die in [Abschnitt 6](#), sowie die Betriebsbedingungen, die in [Abschnitt 7](#) definiert sind, anzuwenden. Alle relevanten Kombinationen von Umwelt- und Betriebsbedingungen sind zu untersuchen. Ein Mindestumfang solcher Kombinationen ist in dieser Norm als Lastfälle definiert.

Daten von Messungen an der WEA können verwendet werden, um das Vertrauen in die berechneten Bemessungswerte zu erhöhen und das dynamische Strukturmodell und die Auslegungssituationen zu verifizieren.

Die Verifikation, dass die Auslegung ausreichend ist, muss rechnerisch und/oder durch Messungen erfolgen. Wenn bei dieser Verifikation Messwerte verwendet werden, ist nachzuweisen, dass die Umweltbedingungen während des Testes die charakteristischen Werte und Auslegungssituationen, die in dieser Norm definiert sind, widerspiegeln. Die Auswahl der Messbedingungen einschließlich der Lasten muss die anzuwendenden Sicherheitsfaktoren berücksichtigen.

5.3 Sicherheitsklassen

Eine WEA muss entsprechend einer der beiden folgenden Sicherheitsklassen ausgelegt sein:

- Die Normal-Sicherheitsklasse gilt, wenn ein Ausfall zur Gefährdung von Personen oder zu anderen sozialen oder wirtschaftlichen Folgen führt;
- die Sonder-Sicherheitsklasse gilt, wenn die Sicherheitsanforderungen von örtlichen Vorschriften bestimmt und/oder zwischen Hersteller und Auftraggeber vereinbart werden.

Teilsicherheitsbeiwerte für eine WEA der Normal-Sicherheitsklasse sind in [7.6](#) der vorliegenden Norm festgelegt.

Teilsicherheitsbeiwerte für die Sonder-Sicherheitsklasse müssen zwischen Hersteller und Auftraggeber vereinbart werden. Eine WEA, die entsprechend der Sonder-Sicherheitsklasse ausgelegt wird, ist eine WEA der Klasse S, wie diese in [6.2](#) definiert ist.

5.4 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung muss integraler Bestandteil von Auslegung, Beschaffung, Fertigung, Installation, Betrieb und Wartung der WEA und all ihrer Komponenten sein.

Es wird empfohlen, dass das Qualitätssystem mit den Anforderungen der ISO 9001 übereinstimmt.

5.5 Typschild der WEA

Als Mindestanforderung muss nachfolgende Information deutlich und leserlich auf dem unveränderbar beschrifteten Typschild vorhanden sein:

- WEA-Hersteller und Land;
- Typbezeichnung und Seriennummer;
- Baujahr;
- Bemessungsleistung;
- Bezugswindgeschwindigkeit, V_{ref} ;
- Betriebsbereich der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe, $V_{in} - V_{out}$;
- Umgebungstemperaturbereich für den Betrieb;
- WEA-Klasse (siehe [Tabelle 1](#));
- Bemessungsspannung an den Anschlussklemmen der WEA;
- Frequenz an den Anschlussklemmen der WEA oder Frequenzbereich, wenn dieser für den normalen Betrieb größer als $\pm 2\%$ angegeben ist.

6 Externe Bedingungen

6.1 Allgemeines

Die in dem vorliegenden Abschnitt beschriebenen externen Bedingungen müssen bei der Auslegung einer WEA berücksichtigt werden.

WEA sind Umweltbedingungen und elektrischen Einflüssen ausgesetzt, die Belastung, Haltbarkeit und den Betrieb beeinträchtigen können. Um das entsprechende Niveau an Sicherheit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, müssen bei der Auslegung die elektrischen Parameter sowie auch die Umwelt- und Bodenparameter berücksichtigt und in den Konstruktionsunterlagen ausführlich und eindeutig dokumentiert werden.

Die Umweltbedingungen werden weiter unterteilt in Wind- und andere Umweltbedingungen. Die elektrischen Bedingungen rühren von Netzzuständen her. Für die Auslegung von WEA-Fundamenten sind die Bodenverhältnisse zu berücksichtigen.

Die externen Bedingungen werden in normale und extreme externe Bedingungen unterteilt. Die normalen externen Bedingungen betreffen im Allgemeinen wiederkehrende Belastungen der Konstruktion, während die extremen externen Bedingungen die seltenen, aber möglicherweise kritischen Auslegungsbedingungen darstellen. Die Auslegungslastfälle müssen die möglicherweise kritischen Kombinationen der externen Bedingungen mit den Betriebsbedingungen und anderen Auslegungsbedingungen der WEA umfassen.

Für die Integrität der Konstruktion sind die Windbedingungen die primären äußeren Einwirkungen. Andere Umgebungsbedingungen, wie die Funktion des Betriebsführungssystems, die Dauerhaftigkeit, die Korrosion usw., beeinträchtigen ebenfalls die Auslegung.

Die normalen und extremen Bedingungen, die bei der Auslegung für eine WEA-Klasse zu berücksichtigen sind, sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

6.2 WEA-Klassen

Die für die WEA-Aufstellung zu berücksichtigenden äußeren Bedingungen sind vom vorgesehenen Standort oder Standorttyp der WEA abhängig. Die WEA-Klassen sind in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Turbulenzparametern definiert. Es ist beabsichtigt, mit den Klassen die meisten Anwendungsfälle zu erfassen. Die Werte für die Windgeschwindigkeit und die Parameter der Turbulenz sind so gewählt worden, dass sie die Kennwerte für viele verschiedene Standorte und nicht die genaue Darstellung für irgendeinen spezifischen Standort verkörpern, siehe [11.3](#). Die WEA-Klassierung ergibt eine Bandbreite unterschiedlicher

Widerstandsfähigkeit, beschrieben durch die Windgeschwindigkeits- und Turbulenzparameter. Tabelle 1 enthält die Grundparameter, die die Typenklassen definieren.

Eine weitere WEA-Klasse, die Klasse „S“ ist für die Fälle definiert, in denen besondere Wind- oder externe Bedingungen oder die Sonder-Sicherheitsklasse, siehe 5.3, vom Konstrukteur gewünscht werden. Die Auslegungswerte für die WEA-Klasse S müssen vom Konstrukteur gefordert und in den Konstruktionsunterlagen dokumentiert sein. Für diese speziellen Auslegungen müssen die gewählten Werte der Betriebsbedingungen eine Umwelt widerspiegeln, die mindestens so rau ist wie die, die im Betrieb der WEA erwartet wird.

Die speziellen externen Bedingungen der WEA-Klassen I, II und III sind weder für Offshore-Bedingungen noch für Windbedingungen gedacht, wie sie in tropischen Wirbelstürmen wie Hurrikane, Zyklone und Taifune erfahren werden. Solcherart Bedingungen können eine Auslegung nach WEA-Klasse S erfordern.

Tabelle 1 – Grundparameter für WEA-Klassen¹

WEA-Klasse	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	Werte sind vom Hersteller anzugeben
A I_{ref} (–)	0,16			
B I_{ref} (–)	0,14			
C I_{ref} (–)	0,12			

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte gelten in Nabenhöhe und dabei sind

V_{ref} der 10-min-Mittelwert der Bezugswindgeschwindigkeit,

A die Kategorie für höhere Turbulenzwerte,

B die Kategorie für mittlere Turbulenzwerte,

C die Kategorie für niedrigere Turbulenzwerte und

I_{ref} der Erwartungswert der Turbulenzintensität² bei 15 m/s.

Neben diesen Grundparametern sind zusätzlich einige wichtige Parameter erforderlich, um die bei der WEA-Auslegung verwendeten externen Bedingungen vollständig zu definieren. Im Fall der WEA-Klassen IA bis IIIC, später als Standard-WEA-Klassen bezeichnet, sind die Werte dieser zusätzlichen Parameter in 6.3, 6.4 und 6.5 angegeben.

Die Auslegungs-Lebensdauer der WEA-Klassen I bis III muss mindestens 20 Jahre betragen.

Für die WEA-Klasse S muss der Hersteller die verwendeten Modelle und die Werte der Auslegungsparameter in den Konstruktionsunterlagen dokumentieren. Wenn die Modelle nach Abschnitt 6 angewandt werden, ist es ausreichend, die Werte der Parameter anzugeben. Die Konstruktionsunterlagen der WEA-Klasse S müssen die im Anhang A aufgeführten Angaben enthalten.

Die in Klammern in den Abschnittsüberschriften des verbleibenden Teils dieses Abschnitts hinzugefügten Abkürzungen werden zur Beschreibung der externen Windbedingungen für die in 7.4 definierten Auslegungslastfälle verwendet.

¹ Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit wird in dieser Ausgabe der Norm in Tabelle 1 nicht mehr als Grundlagenparameter für die WEA-Klassen aufgeführt. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit für die Auslegung von WEA gemäß diesen Klassen ist in Gleichung (9) angegeben.

² Anmerkung: I_{ref} ist in dieser Ausgabe der Norm als Erwartungswert definiert und nicht als repräsentativer Wert.