

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	12
4 Symbole und Abkürzungen	21
4.1 Allgemeines	21
4.2 Symbole	21
4.3 Koordinatensystem	26
5 Grundsätze	27
5.1 Allgemeines	27
5.2 Bemessungsverfahren	27
5.3 Qualitätssicherung	28
I Bewertung der Konstruktion	30
6 Externe Bedingungen	30
6.1 Allgemeines	30
6.2 KWEA-Klassen	30
6.3 Windbedingungen	31
6.3.1 Allgemeines	31
6.3.2 Normale Windbedingungen	32
6.3.3 Extreme Windbedingungen	33
6.4 Sonstige Umweltbedingungen	37
6.4.1 Allgemeines	37
6.4.2 Sonstige normale Umweltbedingungen	38
6.4.3 Sonstige extreme Umweltbedingungen	38
6.5 Kontrollierte Prüfbedingungen	38
6.6 Elektrische Lastbedingungen	39
6.6.1 Allgemeines	39
6.6.2 Mit dem Energieversorgungsnetz verbundene Windenergieanlagen	39
6.6.3 Nicht mit dem Energieversorgungsnetz verbundene Windenergieanlagen	39
7 Strukturbemessung	40
7.1 Allgemeines	40
7.2 Methodologie der Bemessung	40
7.3 Lasten und Lastfälle	40
7.3.1 Allgemeines	40
7.3.2 Schwingungs-, Trägheits- und Schwerkraftlasten	40
7.3.3 Aerodynamische Lasten	40

	Seite
7.3.4 Betriebslasten.....	41
7.3.5 Sonstige Lasten.....	41
7.3.6 Lastfälle	41
7.4 Vereinfachte Lastberechnung	41
7.4.1 Allgemeines	41
7.4.2 Lastfall A: Normalbetrieb	43
7.4.3 Lastfall B: Gierbewegung	44
7.4.4 Lastfall C: Gierfehler.....	45
7.4.5 Lastfall D: Größter Schub.....	45
7.4.6 Lastfall E: Größte Rotordrehzahl.....	45
7.4.7 Lastfall F: Kurzschluss am Lastanschluss	45
7.4.8 Lastfall G: Abschaltung (Bremsen).....	46
7.4.9 Lastfall H: Extreme Windlast	46
7.4.10 Lastfall I: Windlast in Parkstellung, größte Angriffsfläche	47
7.4.11 Lastfall J: Transport, Montage, Instandhaltung und Reparatur	48
7.5 Simulationsmodell	48
7.5.1 Allgemeines	48
7.5.2 Leistungserzeugung (DLC 1.1 bis DLC 1.5)	50
7.5.3 Leistungserzeugung mit Auftreten eines Fehlers (DLC 2.1 bis DLC 2.3)	50
7.5.4 Normale Abschaltung (DLC 3.1 bis DLC 3.2)	50
7.5.5 Notabschaltung oder Abschaltung von Hand (DLC 4.1)	50
7.5.6 Extreme Windlast (Stillstand oder Leerlauf oder Drehbewegung) (DLC 5.1 bis DLC 5.2)	50
7.5.7 Parkstellung und Fehlerzustand (DLC 6.1)	51
7.5.8 Transport, Montage, Instandhaltung und Reparatur (DLC 7.1)	51
7.5.9 Lastberechnungen.....	51
7.6 Lastmessungen	51
7.7 Spannungsberechnung	52
7.8 Sicherheitsbeiwerte	52
7.8.1 Materialbeiwerte und Anforderungen	52
7.8.2 Teilsicherheitsbeiwert für Lasten.....	53
7.9 Grenzzustandsanalyse	54
7.9.1 Tragfähigkeitsanalyse	54
7.9.2 Ermüdungsversagen	54
7.9.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	55
8 Sicherheits- und Abschaltssystem	55
8.1 Allgemeines	55
8.2 Funktionsanforderungen an das Sicherheitssystem	55
8.3 Abschalten von Hand	56
8.4 Abschalten zur Instandhaltung	56

	Seite
9 Elektrische Anlage	57
9.1 Allgemeines	57
9.2 Schutzeinrichtungen	57
9.3 Trenneinrichtungen	57
9.4 Erdungssysteme	57
9.5 Blitzschutz	57
9.6 Elektrische Leiter und Kabel	58
9.7 Elektrische Lasten	58
9.7.1 Allgemeines	58
9.7.2 Batterieladung	58
9.7.3 Elektrisches Energieversorgungsnetz (an das Netz angeschlossene Anlagen)	58
9.7.4 Direkter Anschluss an elektrische Motoren (z. B. Wasserpumpen)	59
9.7.5 Direkte Widerstandslasten (z. B. Heizung)	59
9.8 Lokale Anforderungen	59
10 Tragende Struktur	59
10.1 Allgemeines	59
10.2 Dynamische Anforderungen	59
10.3 Umweltfaktoren	60
10.4 Erdung	60
10.5 Fundament	60
10.6 Bemessungslasten bei Zugang zur Anlage	60
11 Anforderungen an die Dokumentation	60
11.1 Allgemeines	60
11.2 Produkthandbücher	60
11.2.1 Allgemeines	60
11.2.2 Spezifikation	61
11.2.3 Installation	61
11.2.4 Betrieb	62
11.2.5 Instandhaltung und Routineinspektion	62
11.3 Verbraucher-Label	64
12 Kennzeichnung der Windenergieanlage	64
II Typprüfungen	65
13 Messungen	65
13.1 Allgemeines	65
13.2 Prüfungen zum Nachweis der Bemessungsdaten	65
13.2.1 Allgemeines	65
13.2.2 P_{design} , n_{design} , V_{design} und Q_{design}	65
13.2.3 Größte Giergeschwindigkeit	66

	Seite
13.2.4 Größte Rotordrehzahl.....	66
13.3 Messung von mechanischen Lasten	66
13.4 Dauerprüfung.....	67
13.4.1 Allgemeines	67
13.4.2 Zuverlässiger Betrieb	68
13.4.3 Dynamisches Verhalten	71
13.4.4 Protokollierung der Dauerprüfung	71
13.5 Prüfung mechanischer Bauteile	72
13.5.1 Allgemeines	72
13.5.2 Rotorblattprüfung.....	72
13.5.3 Nabenprüfung.....	73
13.5.4 Gondelrahmenprüfung	73
13.5.5 Prüfung des Giermechanismus.....	73
13.5.6 Getriebeprüfung.....	73
13.6 Sicherheit und Funktion.....	73
13.7 Umweltprüfungen	74
13.8 Elektrische Prüfungen	74
Anhang A (informativ) Varianten von kleinen Windenergieanlagen.....	75
A.1 Allgemeines	75
A.2 Beispiel 1: Formen der elektrischen Leistung	75
A.3 Beispiel 2: Rotorblätter	75
A.4 Beispiel 3: Tragende Strukturen.....	76
Anhang B (normativ) Bemessungsparameter zur Beschreibung der KWEA-Klasse S.....	77
Anhang C (informativ) Stochastische Turbulenzmodelle	78
C.1 Allgemeines	78
C.2 Exponentielles Kohärenzmodell	79
C.3 Isotropes Turbulenzmodell nach von Karman.....	79
Anhang D (informativ) Deterministische Turbulenzbeschreibung	81
Anhang E (informativ) Teilsicherheitsbeiwerte für Materialien	83
E.1 Allgemeines	83
E.2 Symbole.....	83
E.3 Vergleich von charakteristischen Werten und Bemessungswerten	83
E.4 Materialbeiwerte und Anforderungen	84
E.4.1 Allgemeines	84
E.4.2 Verbundmaterialien	85
E.4.3 Metalle	87
E.4.4 Holz.....	87
E.5 Formeffekte	90
E.6 Referenzdokumente	91

	Seite
Anhang F (informativ) Herleitung der Methode der Lastvereinfachung	92
F.1 Symbole, die in diesem Anhang verwendet werden	92
F.2 Allgemeines	93
F.3 Hinweise für die Nutzung der vereinfachten Gleichungen	94
F.4 Allgemeine Beziehungen	94
F.5 Referenzdokumente	102
Anhang G (informativ) Beispielformate für Prüfberichte	103
G.1 Überblick	103
G.2 Dauerprüfung	103
G.2.1 Allgemeines	103
G.2.2 Tabelle, die die Ergebnisse der Dauerprüfung zusammenfasst	103
G.2.3 Grafische Darstellung einer möglichen Verminderung der Leistungserzeugung	104
G.3 Leistungs-/Energieverhalten	104
G.3.1 Allgemeines	104
G.4 Schallprüfung	106
Anhang H (informativ) EMV-Messungen	108
H.1 Überblick	108
H.2 Messung der abgestrahlten Aussendungen	108
H.3 Messung der leitungsgeführten Aussendungen	109
H.4 Referenzdokumente	110
Anhang I (normativ) Eigenfrequenzanalyse	111
Anhang J (informativ) Extreme Umweltbedingungen	112
J.1 Überblick	112
J.2 Extreme Bedingungen	112
J.3 Geringe Temperatur	112
J.4 Eis	112
J.5 Hohe Temperatur	113
J.6 Meeresbedingungen	113
Anhang K (informativ) Extreme Windbedingungen durch tropische Wirbelstürme	114
K.1 Allgemeines	114
K.2 Verwendung der KWEA-Klassen in Gebieten mit tropischen Wirbelströmen	114
K.3 Extreme Windbedingungen	114
K.3.1 Definition von tropischen Wirbelstürmen	114
K.3.2 Allgemeine Merkmale von tropischen Wirbelstürmen	114
K.3.3 Extreme Windbedingungen	115
K.4 Stochastische Simulation (Monte-Carlo-Simulation)	117
K.5 Referenzdokumente	117
Anhang L (informativ) Andere Windbedingungen	120
L.1 Allgemeines	120

	Seite
L.2 Typische Situationen	120
L.3 Richtungsabhängige Anströmung	120
L.4 Schräganströmung	121
L.5 Turbulenz.....	122
L.6 Extreme Windrichtungsänderungen	125
L.7 Böenreaktionsfaktoren.....	126
L.8 Referenzdokumente	126
Anhang M (informativ) Verbraucher-Label	128
M.1 Allgemeines	128
M.2 Verwaltung.....	128
M.2.1 Allgemeines	128
M.2.2 Zusammenfassender Prüfbericht	128
M.2.3 Veröffentlichung von Labeln	129
M.2.4 Varianten von Windenergieanlagen	129
M.3 Label-Prüfungen	129
M.3.1 Allgemeines	129
M.3.2 Dauerprüfung.....	130
M.3.3 Leistungskurve und Bezugswert der Jahresenergieerzeugung	130
M.3.4 Schallprüfung.....	130
M.4 Aufbau des Labels.....	130
M.5 Referenzdokumente	130
Literaturhinweise.....	133
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	135
 Bilder	
Bild 1 – Definition der Koordinatensysteme für HAWT	26
Bild 2 – Definition der Koordinatensysteme für VAWT	27
Bild 3 – Entscheidungspfad nach IEC 61400-2	29
Bild 4 – Charakteristische Windturbulenz	33
Bild 5 – Beispiel für eine extreme Betriebsbö ($N = 1$, $V_{hub} = 25$ m/s).....	34
Bild 6 – Beispiel für den Betrag einer extremen Richtungsänderung ($N = 50$, $D = 5$ m, $z_{hub} = 20$ m).....	35
Bild 7 – Beispiel für die Dauer einer extremen Windrichtungsänderung ($N = 50$, $V_{hub} = 25$ m/s).....	35
Bild 8 – Extreme kohärente Bö ($V_{hub} = 25$ m/s) (ECG)	36
Bild 9 – Richtungsänderung für ECD.....	37
Bild 10 – Zeitlicher Verlauf der Richtungsänderung für $V_{hub} = 25$ m/s.....	37
Bild E.1 – Normal- und Weibull-Verteilung	84
Bild E.2 – Typisches Wöhler-Diagramm für die Ermüdung von Glasfaser-Verbundmaterialien (Bild 41 aus [E.2]).....	86

	Seite
Bild E.3 – Typische Umwelteffekte auf Glasfaser-Verbundmaterialien (Bild 25 aus [E.2]).....	86
Bild E.4 – Ermüdungsdehnungsdiagramm für „large-tow“ unidirektionale 0°-Kohlefaser/Vinylester- Verbundwerkstoffe, $R = 0,1$ und $R = 10$ (Bild 107 aus [E.2]).....	86
Bild E.5 – Wöhler-Kurven für die Ermüdung typischer Metalle	87
Bild E.6 – Ermüdungsdauerdaten für verleimtes Weichholz (aus [E.5])	88
Bild E.7 – Typische Wöhler-Kurve für Holz (aus [E.5])	88
Bild E.8 – Effekte des Feuchtegehaltes auf die Druckfestigkeit des Holzes parallel zur Faser (Bild 4-13 aus [E.6])	89
Bild E.9 – Effekte des Feuchtegehaltes auf die Festigkeitseigenschaften von Holz (Bild 4-11 aus E.6).....	89
Bild E.10 – Effekte des Faserwinkels auf die mechanischen Eigenschaften von astfreiem Holz nach der Hankinson-Formel (Bild 4-4 aus [E.6]).....	90
Bild G.1 – Beispiel für die grafische Darstellung der Verminderung der Leistungserzeugung	104
Bild G.2 – Beispiel für eine in Bins eingeteilte und auf Meereshöhe normierte Leistungskurve.....	105
Bild G.3 – Beispiel für ein Streudiagramm der gemessenen Leistung und der Windgeschwindigkeit.....	105
Bild G.4 – Beispiel für eine Schallimmissionskarte	107
Bild H.1 – Messaufbau zur Messung abgestrahlter Aussendungen (Messaufbau Typ A).....	108
Bild H.2 – Messaufbau zur Messung abgestrahlter Aussendungen (Messaufbau Typ B).....	109
Bild H.3 – Messaufbau zur Messung leitungsgeführter Aussendungen (Messaufbau Typ A).....	109
Bild H.4 – Messaufbau zur Messung leitungsgeführter Aussendungen (Messaufbau Typ B).....	110
Bild I.1 – Beispiel für ein Campbell-Diagramm.....	111
Bild K.1 – Vergleich von vorhergesagten und gemessenen extremen Windgeschwindigkeiten in einem Gebiet mit Mischklima (nach T. Isihara und A. Yamaguchi)	117
Bild K.2 – Bahnen tropischer Wirbelstürme zwischen 1945 und 2006 (Daten des Joint Typhoon Warning Center und der U.S. National Oceanographic and Atmospheric Administration).....	119
Bild L.1 – Simulation zur Darstellung der Schräganströmung eines Gebäudes (mit freundlicher Genehmigung von Sander Mertens).....	121
Bild L.2 – Beispiel für die Windanströmung eines Gebäudes	122
Bild L.3 – Verteilung der Turbulenzintensität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit 5 m über den Baumspitzen in einem Wald nördlich von Uppsala, Schweden, von Januar bis Dezember 2009.....	123
Bild L.4 – Verteilung der Turbulenzintensität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit 69 m über den Baumspitzen in einem Wald nördlich von Uppsala, Schweden, im Jahr 2009 (begrenzte Daten für hohe Windgeschwindigkeiten)	123
Bild L.5 – Verteilung der Turbulenzintensität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit 2 m über einem Dach in Melville, Westaustralien, von Januar bis Februar 2009, siehe [L.4]	124
Bild L.6 – Verteilung der Turbulenzintensität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit 5,7 m über einem Dach in Port Kennedy, Westaustralien, von Februar bis März 2010, siehe [L.4]	124
Bild L.7 – Beispiel für extreme Windrichtungsänderungen; 1,5 m über einem Dach in Tokio, Japan, während eines Zeitraumes von 3 Monaten von Februar bis Mai 2007 (0,5-Hz-Daten, siehe [L.5])	125
Bild L.8 – Beispiel für extreme Windrichtungsänderungen; 1,5 m über einem Dach in Tokio, Japan, während eines Zeitraumes von fünf Monaten von September 2010 bis Februar 2011 (1,0-Hz-Daten, siehe [L.5]).....	126

Bild L.9 – Messungen des Böenreaktionsfaktors während eines Sturmes in Port Kennedy, Westaustralien, im März 2010, gemessen 5 m über einem Dach mit dem 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit.....	126
Bild M.1 – Musterlabel in deutscher Sprache	131
Bild M.2 – Zweisprachiges Musterlabel (in englischer/französischer Sprache)	132

Tabellen

Tabelle 1 – Grundparameter für KWEA-Klassen.....	31
Tabelle 2 – Bemessungslastfälle für das vereinfachte Lastberechnungsverfahren	43
Tabelle 3 – Kraftbeiwerte (C_f)	48
Tabelle 4 – Mindestumfang an Bemessungslastfällen (DLC) für die Simulation durch aeroelastische Modelle	49
Tabelle 5 – Vergleichsspannungen	52
Tabelle 6 – Teilsicherheitsbeiwerte für Materialien	53
Tabelle 7 – Teilsicherheitsbeiwerte für Lasten	54
Tabelle C.1 – Spektralparameter der Turbulenz für das Modell nach Kaimal.....	78
Tabelle E.1 – Faktoren für verschiedene Überlebenswahrscheinlichkeiten und Variationen	84
Tabelle E.2 – Unregelmäßigkeiten der Form.....	91
Tabelle G.1 – Beispielergebnisse für die Dauerprüfung.....	103
Tabelle G.2 – Beispieltabelle für die berechnete Jahresenergieerzeugung (AEP)	106
Tabelle K.1 – Die von Wetterstationen aufgezeichneten fünf höchsten Mittelwerte von Extremwindgeschwindigkeiten	115
Tabelle K.2 – Die an Wetterstationen aufgezeichneten Extremwindgeschwindigkeiten.....	116