

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Symbole und Einheiten.....	15
5 Abkürzungen.....	19
6 Blitzumgebung von Windenergieanlagen.....	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Blitzstromparameter und Gefährdungspegel.....	19
7 Bewertung der Blitzeinwirkung	21
7.1 Allgemeines	21
7.2 Bewertung der Blitzschlaghäufigkeit für eine WEA	22
7.3 Bewertung des Schadensrisikos	25
8 Blitzschutz von Teilkomponenten	27
8.1 Allgemeines	27
8.2 Rotorblätter	28
8.3 Gondel und andere Konstruktionsteile	31
8.4 Mechanischer Antriebsstrang und Giersystem.....	32
8.5 Elektrische Niederspannungssysteme und elektronische Systeme und Anlagen	34
8.6 Elektrische Hochspannungsversorgungsnetze	38
9 Erdung von Windenergieanlagen und Windparks.....	40
9.1 Allgemeines	40
9.2 Potentialausgleichsverbinding.....	41
9.3 Konstruktionsteile	42
9.4 Maße von Erdern.....	44
9.5 Windparks.....	44
9.6 Errichtung und Wartung von Erdungsanlagen	45
10 Sicherheit von Personen	45
11 Dokumentation der Blitzschutzanlage	46
11.1 Allgemeines	46
11.2 Für die Bewertung der Konstruktion erforderliche Dokumentation	46
11.3 Standortspezifische Informationen	48
11.4 Für die Inspektion der BSA vorzulegende Dokumentation	48
11.5 Handbücher	48
12 Inspektion der Blitzschutzanlage	48
12.1 Umfang der Inspektion	48
12.2 Reihenfolge der Inspektionen.....	49
12.3 Wartung	50
Anhang A (informativ) Blitzerscheinungen im Zusammenhang mit WEA	51
A.1 Blitzumgebung für WEA	51
A.1.1 Allgemeines	51
A.1.2 Eigenschaften von Blitzen	51
A.1.3 Entstehung der Blitzentladung und elektrische Parameter	51
A.1.4 Wolke-Erde-Blitze	52
A.1.5 Aufwärts gerichtete Blitze	57
A.2 Blitzstromparameter in Abhängigkeit vom Einschlagpunkt	59
A.3 Blitzkanalstrom ohne Rückentladung	60

	Seite
A.4 Auswirkungen elektromagnetischer Blitzimpulse	60
Anhang B (informativ) Bewertung der Blitzeinwirkung.....	61
B.1 Allgemeines	61
B.2 Erläuterung der Begriffe.....	61
B.2.1 Schäden und Verluste	61
B.2.2 Schadensrisiko und Risikokomponenten.....	63
B.2.3 Zusammensetzung der Risikokomponenten für eine WEA.....	64
B.2.4 Zusammensetzung von Risikokomponenten für eine Versorgungsleitung	65
B.3 Abschätzung der Schadenswahrscheinlichkeiten für WEA.....	65
B.3.1 Wahrscheinlichkeit P_A , dass ein Blitzeinschlag in die WEA Verletzungen von Lebewesen verursacht	65
B.3.2 Wahrscheinlichkeit P_B , dass ein Blitzeinschlag in die WEA physikalische Schäden verursacht	66
B.3.3 Wahrscheinlichkeit P_C , dass ein Blitzeinschlag in die WEA den Ausfall innerer Systeme verursacht	66
B.3.4 Wahrscheinlichkeit P_M , dass ein Blitzeinschlag neben der WEA den Ausfall innerer Systeme verursacht	67
B.3.5 Wahrscheinlichkeit P_U , dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung die Verletzung von Lebewesen verursacht.....	67
B.3.6 Wahrscheinlichkeit P_V , dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung einen physikalischen Schaden verursacht	68
B.3.7 Wahrscheinlichkeit P_W , dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung einen Ausfall innerer Systeme verursacht.....	68
B.3.8 Wahrscheinlichkeit P_Z , dass ein Blitzeinschlag neben einer eingeführten Versorgungsleitung den Ausfall innerer Systeme verursacht.....	68
B.4 Abschätzung des Wertes des Verlustes L_X in einer WEA.....	69
B.4.1 Allgemeines	69
B.4.2 Mittlere relative jährliche Verluste.....	69
B.4.3 Verlust von Menschenleben	69
B.4.4 Wirtschaftliche Verluste	72
B.5 Abschätzung der Wahrscheinlichkeit P'_X des Schadens an einer Versorgungsleitung	73
B.5.1 Versorgungsleitung mit metallischen Leitern.....	73
B.6 Abschätzung des Verlustes L'_X für eine Versorgungsleitung.....	76
B.6.1 Allgemeines	76
B.6.2 Wirtschaftliche Verluste	76
B.7 Abschätzung der Kosten von Verlusten	77
B.8 Fallstudien.....	78
Anhang C (informativ) Schutzverfahren für Rotorblätter.....	79
C.1 Allgemeines	79
C.1.1 Arten von Rotorblättern und Schutzverfahren für Rotorblätter	79
C.1.2 Beschädigungsmechanismen an Rotorblättern.....	80
C.2 Schutzverfahren.....	81
C.2.1 Allgemeines	81
C.2.2 Blitzfangeinrichtungen an der Blattoberfläche oder in die Oberfläche eingebettet	81
C.2.3 Aufgeklebte Metallbänder und segmentierte Ableitstreifen	82
C.2.4 Innere Ableitungssysteme	82
C.2.5 Leitende Oberflächenwerkstoffe	82

	Seite
C.3	Konstruktionsteile aus CFK 83
C.4	Besondere Aspekte leitender Bauteile 84
C.5	Auffangwirksamkeit 84
C.6	Bemessung von Blitzschutzanlagen 85
C.7	Übergang Rotorblatt – Nabe 88
Anhang D (informativ) Prüfspezifikation 90	
D.1	Allgemeines 90
D.2	Hochspannungs-Einschlagprüfungen 90
D.2.1	Erstblitz-Einschlagprüfung 90
D.2.2	Einschlagprüfung am überstrichenen Kanal 99
D.3	Hochstrom-Zerstörungsprüfungen 102
D.3.1	Allgemeines 102
D.3.2	Lichtbogen-Eintrittsprüfung 103
D.3.3	Prüfung von nichtleitenden Oberflächen 105
D.3.4	Prüfung des leitungsgeführten Stromes 107
Anhang E (informativ) Anwendung der Konzeption der Blitzschutzzonen auf Windenergieanlagen 111	
E.1	Definition von Blitzschutzzonen 111
E.2	LPZ 0 111
E.3	Weitere Zonen 112
E.4	Zonengrenzen 113
E.5	Anforderungen an Schutzzonen 114
Anhang F (informativ) Auswahl und Installation eines koordinierten Überspannungsschutzes in Windenergieanlagen 116	
F.1	Anordnung von SPDs 116
F.2	Auswahl von SPDs 116
F.3	Installation von SPDs 116
F.4	Beanspruchung von SPDs durch die Umgebung 117
F.5	SPD-Zustandsanzeige und SPD-Überwachung bei einem SPD-Ausfall 117
F.6	Auswahl von SPDs unter Berücksichtigung des Schutzpegels (U_p) und der Störfestigkeit des Systems 118
F.7	Auswahl von SPDs unter Berücksichtigung von innerhalb der WEA erzeugten Überspannungen 118
F.8	Auswahl von SPDs unter Berücksichtigung von Entladungsströmen (I_n) und Stoßströmen (I_{imp}) 118
Anhang G (informativ) Weitere Informationen zu Potentialausgleich, Schirmung und Installationsverfahren 120	
G.1	Weitere Informationen zum Potentialausgleich 120
G.2	Weitere Informationen zum LEMP-Schutz 121
G.3	Weitere Informationen zu Schirmung und Installationsverfahren 121
Anhang H (informativ) Prüfverfahren für Störfestigkeitsprüfungen auf der Systemebene 124	
Anhang I (informativ) Erdungsanlage 126	
I.1	Allgemeines 126
I.1.1	Arten von Erdungsanlagen 126
I.1.2	Aufbau 126
I.2	Maße des Erders 128
I.2.1	Art der Anordnung 128
I.2.2	Frequenzabhängigkeit der Erdungsimpedanz 129
I.3	Gleichungen für den Erdungswiderstand für verschiedene Erderanordnungen 130

	Seite
Anhang J (informativ) Beispiel für definierte Messpunkte.....	134
Anhang K (informativ) Typischer Fragebogen für Blitzschäden	136
Anhang L (informativ) Überwachungssysteme	138
Anhang M (informativ) Leitfaden für kleine WEA – Mikroerzeugung.....	139
Literaturhinweise	140
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	143
Bild 1 – Einfangfläche der WEA.....	23
Bild 2 – Effektive Höhe H einer WEA auf einer Anhöhe	23
Bild 3 – Einfangfläche einer WEA der Höhe H_a und eines weiteren Bauwerkes der Höhe H_b , die durch ein Erdkabel der Länge L_C verbunden sind.....	25
Bild 4a – Asynchrongenerator mit Käfigläufer.....	39
Bild 4b – Asynchrongenerator mit Schleifringläufer	39
Bild 4 – Beispiele für die Anordnung von Überspannungsableitern für Hochspannung in zwei typischen elektrischen Hauptstromkreisen von WEA	39
Bild A.1 – Vorgänge bei der Ausbildung eines Wolke-Erde-Blitzes.....	53
Bild A.2 – Typischer Verlauf eines negativen Wolke-Erde-Blitzes (nicht maßstabsgerecht)	53
Bild A.3 – Definition von Kurzentladungsparametern (gewöhnlich ist $T_2 < 2$ ms)	54
Bild A.4 – Definition von Langentladungsparametern (gewöhnlich 2 ms $< T_{\text{long}} < 1$ s) (IEC 62305-1, Bild A.2)	54
Bild A.5 – Typische Komponenten von Abwärtsblitzen (typisch für ebenes Gelände und niedrige Bauwerke) (IEC 62305-1, Bild A.3).....	56
Bild A.6 – Typischer Verlauf eines positiven Wolke-Erde-Blitzes	56
Bild A.7 – Typischer Verlauf eines negativen, aufwärts gerichteten Blitzes	57
Bild A.8 – Mögliche Komponenten von Aufwärtsblitzen (typisch für exponierte und/oder hohe Bauwerke) (IEC 62305-1, Bild A.4).....	58
Bild C.1 – Bauarten von Rotorblättern	79
Bild C.2 – Blitzschutzkonzeptionen für große moderne WEA-Rotorblätter	81
Bild C.3 – Durch Blitze induzierte Spannungen zwischen Blitzableiter oder Konstruktion und Verdrahtung von Messfühlern.....	84
Bild D.1 – Prüfaufbau A für die Erstblitz-Einschlagprüfung (der Prüfling sollte in mehreren Stellungen geprüft werden, die verschiedene Richtungen des sich annähernden Blitzkanals repräsentieren).....	92
Bild D.2 – Mögliche Ausrichtungen für Prüfaufbau A für Erstblitz-Einschlagprüfungen	93
Bild D.3 – Der Blitzkanal-Verbindungspunkt muss entfernt vom Prüfling liegen	94
Bild D.4 – Prüfaufbau B für die Erstblitz-Einschlagprüfung	94
Bild D.5 – Prüfaufbau C für Bewertungsprüfungen der Anordnung örtlicher Schutzeinrichtungen (z. B. Ableitstreifen).....	96
Bild D.6 – Typischer Schaltstoßspannungsanstieg bis zum Überschlag (100 μ s je Teilstrich)	97
Bild D.7 – Einschlagprüfung am überstrichenen Kanal	100
Bild D.8 – Kurvenform der Blitzstoßspannung (IEC 60060-1, Bild 6)	101
Bild D.9 – Kurvenform der Blitzstoßspannung mit Darstellung eines Überschlages an der Wellenfront (IEC 60060-1, Bild 7)	101
Bild D.10 – Typische Strahlableitungselektroden	104
Bild D.11 – Hochstrom-Prüfanordnung für nichtleitende Oberflächen.....	106
Bild D.12 – Beispiel für eine Prüfanordnung für Prüfungen des leitungsgeführten Stromes.....	109
Bild E.1 – Blitzkugelmodell.....	112
Bild E.2 – Geflecht mit großer Maschenweite für Gondeln mit GFK-Verkleidung	113

	Seite
Bild E.3 – Geflecht mit kleiner Maschenweite für Gondeln mit GFK-Verkleidung.....	113
Bild E.4 – Zwei Schränke, die beide als LPZ 2 festgelegt sind und über die Schirmung eines geschirmten Kabels miteinander verbunden sind	114
Bild E.5 – Beispiel: Unterteilung von WEA in verschiedene LPZ	114
Bild E.6 – Beispiel dafür, wie die LMPS-Unterteilung des elektrischen Systems in Schutzzonen zu dokumentieren ist mit der Angabe, wo die Stromkreise die LPZ-Grenzen überschreiten, und mit der Darstellung langer Kabel, die zwischen Turmfuß und Gondel verlaufen	115
Bild F.1 – Punkt-zu-Punkt-Installationsplan (IEC 60364-5-53, Bild 53E)	117
Bild F.2 – Installationsplan der Erdungsverbindungen (IEC 60364-5-53, Bild A.1).....	117
Bild G.1 – Zwei Steuerschränke, die auf unterschiedlichen metallischen Ebenen in einer Gondel angeordnet sind.....	120
Bild G.2 – Mechanismus der magnetischen Kopplung.....	121
Bild G.3 – Messung der Transferimpedanz	123
Bild H.1 – Beispielstromkreis für die SPD-Entladungsstromprüfung unter Betriebsbedingungen	125
Bild H.2 – Beispielstromkreis für die Induktionsprüfung für Blitzströme	125
Bild I.1 – Mindestlänge l_1 jedes Erders entsprechend der BSA-Schutzklasse (IEC 62305-3, Bild 2).....	128
Bild I.2 – Frequenzabhängigkeit der Erdungsimpedanz (übernommen von CIGRE WG C.4.4.02, Juli 2005)	129
Bild J.1 – Beispiel für Messpunkte.....	134
Bild K.1 – Rotorblattumrisse für die Markierung der Schadensstellen	137
Tabelle 1 – Größtwerte von Blitzparametern nach LPL (IEC 62305-1, Tabelle 5).....	20
Tabelle 2 – Kleinstwerte von Blitzparametern und zugehöriger Blitzkugelradius nach dem LPL (IEC 62305-1, Tabelle 6)	21
Tabelle 3 – Einfangflächen A_1 und A_i der Versorgungsleitung in Abhängigkeit von der Verlegungsart (IEC 62305-2, A.3).....	24
Tabelle 4 – Parameter für die Bewertung von Risikokomponenten für WEA (IEC 62305-2, Tabelle 8)	27
Tabelle 5 – Kleinstmaße von Leitern, die verschiedene Potentialausgleichsschienen/-punkte miteinander verbinden oder die Potentialausgleichsschienen/-punkte mit der Erdungsanlage verbinden (IEC 62305-3, Tabelle 8)	41
Tabelle 6 – Kleinstmaße von Leitern, die innere metallische Installationen mit Potentialausgleichsschienen/-punkten verbinden (IEC 62305-3, Tabelle 9)	42
Tabelle 7 – Allgemeine Inspektionsabstände für BSA.....	50
Tabelle A.1 – Parameter eines Wolke-Erde-Blitzes (abgeleitet aus IEC 62305-1, Tabelle A.1).....	55
Tabelle A.2 – Parameter von aufwärts gerichteten Blitzen.....	58
Tabelle A.3 – Zusammenfassung der nachzubildenden Blitzgefährdungsparameter, die für die Berechnung der Prüfwerte für die verschiedenen Komponenten der BSA und für die verschiedenen LPL zu berücksichtigen sind (IEC 62305-1, Tabelle D.1).....	59
Tabelle B.1 – Schadensquellen, Schadensarten und Schadensursachen nach dem Einschlagpunkt (IEC 62305-2, Tabelle 1)	62
Tabelle B.2 – Risiko für jede Schadensart und Verlustart in einer WEA (IEC 62305-2, Tabelle 2)	62
Tabelle B.3 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_A , dass ein Blitzeinschlag in eine WEA dazu führt, dass ein Lebewesen einen elektrischen Schlag durch gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen erleidet (IEC 62305-2, Tabelle B.1).....	65
Tabelle B.4 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_B in Abhängigkeit von den Schutzmaßnahmen zur Verringerung physikalischer Schäden (IEC 62305-2, Tabelle B.2).....	66
Tabelle B.5 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_{SPD} in Abhängigkeit vom LPL, für den die SPDs ausgelegt sind (IEC 62035-2, Tabelle B.3)	66
Tabelle B.6 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LD} in Abhängigkeit vom Widerstand des Kabelschirmes R_S und von der Steh-Stoßspannung U_W der Einrichtungen	

	Seite
(IEC 62305-2, Tabelle B.6)	67
Tabelle B.7 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LI} in Abhängigkeit vom Widerstand des Kabelschirmes R_S und der Steh-Stoßspannung U_W der Einrichtungen (IEC 62305-2, Tabelle B.7).....	69
Tabelle B.8 – Werte der Reduktionsfaktoren r_a und r_u in Abhängigkeit von der Art der Oberfläche des Erdbodens oder Fußbodens (IEC 62305-2, Tabelle C.2).....	70
Tabelle B.9 – Werte des Reduktionsfaktors r_p in Abhängigkeit von vorgesehenen Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes (IEC 62305-2, Tabelle C.3)	71
Tabelle B.10 – Werte des Reduktionsfaktors r_f in Abhängigkeit vom Brandrisiko einer WEA (IEC 62305-2, Tabelle C.4).....	71
Tabelle B.11 – Werte des Faktors h_z , der den relativen Wert eines Verlustes bei Vorhandensein einer besonderen Gefährdung erhöht (IEC 62305-2, Tabelle C.5)	71
Tabelle B.12 – Typische Mittelwerte für L_t , L_f und L_o (IEC 62305-2, Tabelle C.7)	72
Tabelle B.13 – Werte des Faktors K_d in Abhängigkeit von den Eigenschaften der geschirmten Versorgungsleitung (IEC 62305-2, Tabelle D.1).....	73
Tabelle B.14 – Werte des Faktors K_p in Abhängigkeit von den Schutzmaßnahmen (IEC 62305-2, Tabelle D.2).....	73
Tabelle B.15 – Steh-Stoßspannung U_w in Abhängigkeit vom Kabeltyp (IEC 62305-2, Tabelle D.3)	74
Tabelle B.16 – Steh-Stoßspannung U_{WV} in Abhängigkeit von der Art der Einrichtungen (IEC 62305-2, Tabelle D.4).....	74
Tabelle B.17 – Werte der Wahrscheinlichkeiten P'_B , P'_C , P'_V und P'_W in Abhängigkeit vom Ableitstrom I_a (IEC 62305-2, Tabelle D.5).....	75
Tabelle C.1 – Werkstoff, Form und Nennquerschnitt von Fangleitungen, Fangstangen und Ableitungen (IEC 62305-3, Tabelle 6, zukünftige 2. Ausgabe)	86
Tabelle C.2 – Physikalische Eigenschaften üblicher Werkstoffe für den Einsatz in BSA (IEC 62305-1, Tabelle D.2).....	87
Tabelle C.3 – Erwärmung [K] von unterschiedlichen Leitern in Abhängigkeit von W/R (IEC 62305-1, Tabelle D.3)	88
Tabelle E.1 – Definitionen der Blitzschutzzonen nach IEC 62305-1	111
Tabelle F.1 – Entladungs- und Stoßstrompegel für TN-Systeme nach IEC 60364-5-53.....	118
Tabelle F.2 – Beispiele für erhöhte Entladungs- und Stoßstrompegel für TN-Systeme.....	119
Tabelle I.1 – Impulswirkungsgrad für verschiedene Anordnungen von Tiefenerdern bezogen auf einen senkrechten Tiefenerder mit 12 m Länge (100 %) (übernommen von CIGRE WG C.4.4.02, Juli 2005)	130
Tabelle I.2 – In den Tabellen I.3 bis I.6 verwendete Symbole	130
Tabelle I.3 – Gleichungen für verschiedene Erderanordnungen	131
Tabelle I.4 – Gleichungen für erdverlegte Ringerder in Kombination mit Vertikalerdern.....	132
Tabelle I.5 – Gleichungen für erdverlegte Ringerder in Kombination mit Strahlenerdern	132
Tabelle I.6 – Gleichungen für erdverlegte gerade Horizontalerder in Kombination mit Vertikalerdern	133
Tabelle J.1 – Messpunkte und aufzuzeichnende Widerstände	135