

	DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24)	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; 91.120.40		
Einsprüche bis 2009-05-31		
<div>Entwurf</div>		
Windenergieanlagen – Teil 24: Blitzschutz (IEC 88/322/CD:2008)		
Wind turbines – Part 24: Lightning protection (IEC 88/322/CD:2008)		
Aérogénérateurs – Partie 24: Protection contre la foudre (CEI 88/322/CD:2008)		
Anwendungswarnvermerk		
Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-03-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.		
Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.		
Stellungnahmen werden erbeten		
<ul style="list-style-type: none">– vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden– oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.		
Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.		
Gesamtumfang 306 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen.....	10
3 Begriffe.....	12
4 Symbole und Einheiten.....	18
5 Abkürzungen.....	21
6 Blitzumgebung von Windenergieanlagen	22
6.1 Blitzstromparameter und Gefährdungspegel	22
7 Bewertung der Blitzeinwirkung	23
7.1 Bewertung der Blitzschlaghäufigkeit für eine WEA	24
7.2 Bewertung des Schadensrisikos.....	27
7.2.1 Grundgleichung	27
7.2.2 Bewertung von Risikokomponenten durch Blitzeinschläge in die WEA (S1)	28
7.2.3 Bewertung der Risikokomponente durch Blitzeinschläge neben der WEA (S2)	28
7.2.4 Bewertung von Risikokomponenten durch Blitzeinschläge in eine mit der WEA verbundene Versorgungsleitung (S3).....	28
7.2.5 Bewertung der Risikokomponente durch Blitzeinschläge neben einer mit der WEA verbundenen Versorgungsleitung (S4).....	29
8 Blitzschutz von Teilkomponenten	30
8.1 Rotorblätter	30
8.1.1 Anforderungen	30
8.1.2 Nachweisprüfungen	30
8.1.3 Betrachtungen zur Planung des Schutzes	31
8.1.4 Prüfverfahren	33
8.2 Gondel und andere Konstruktionsteile.....	33
8.2.1 Allgemeines	33
8.2.2 Nabe	33
8.2.3 Spinner.....	34
8.2.4 Gondel	34
8.2.5 Turm.....	34
8.2.6 Prüfverfahren	35
8.3 Mechanischer Antriebsstrang und Giersystem.....	35
8.3.1 Allgemeines	35
8.3.2 Lager.....	35
8.3.3 Hydraulische Systeme	36
8.3.4 Funkenstrecken und Schleifkontakte.....	36

	Seite
8.3.5 Prüfung	36
8.4 Elektrische Niederspannungssysteme und elektronische Systeme und Anlagen	37
8.4.1 Allgemeines	37
8.4.2 LEMP-Schutzmaßnahmen (LPMS)	37
8.4.3 Blitzschutz zonen (LPZ)	38
8.4.4 Potentialausgleichsverbindungen innerhalb der WEA	38
8.4.5 Schirmung und Leitungsführung	38
8.4.6 Koordinierter Überspannungsschutz	39
8.4.7 Prüfverfahren für Störfestigkeitsprüfung von Systemen	41
8.5 Elektrische Hochspannungsversorgungsnetze	42
9 Erdung von Windenergieanlagen und Windparks	43
9.1 Allgemeines	43
9.1.1 Grundanforderungen	43
9.1.2 Anordnungen von Erdern	44
9.1.3 Impedanz der Erdungsanlage	44
9.2 Potentialausgleichsverbindung	44
9.2.1 Allgemeines	44
9.2.2 Blitzschutz-Potentialausgleich für metallische Installationen	44
9.2.3 elektrisch isolierte BSA	45
9.3 Konstruktionsteile	45
9.3.1 Röhrenförmige Metalltürme	45
9.3.2 Betontürme mit Metallbewehrung	45
9.3.3 Gittertürme	46
9.3.4 Systeme innerhalb des Turmes	46
9.3.5 Betonfundament	46
9.3.6 Gründung in felsigen Gebieten	47
9.3.7 Metallische Monopfahlgründung	47
9.3.8 Offshore-Gründung	47
9.4 Maße von Erdern	47
9.5 Windparks	48
9.6 Errichtung und Wartung von Erdungsanlagen	48
10 Sicherheit von Personen	49
11 Dokumentation der Blitzschutzanlage	50
11.1 Für die Bewertung der Konstruktion erforderliche Dokumentation	50
11.1.1 Allgemeine Dokumentation	50
11.1.2 Dokumentation für die Rotorblätter	50
11.1.3 Dokumentation für das mechanische System	51
11.1.4 Dokumentation für das elektrische und elektronische System	51
11.1.5 Dokumentation für Erdungs- und Potentialausgleichssysteme	51

	Seite
11.1.6 Dokumentation für die Blitzschutzanlagen der Gondelabdeckung, der Nabe und des Turmes.....	51
11.2 Standortspezifische Informationen	52
11.3 Für die Inspektion der BSA vorzulegende Dokumentation.....	52
11.3.1 Bericht über die Sichtprüfung der BSA.....	52
11.3.2 Bericht über die umfassende Inspektion der BSA.....	52
12 Inspektion der Blitzschutzanlage	52
12.1 Umfang der Inspektion.....	52
12.2 Reihenfolge der Inspektionen	52
12.3 Wartung	54
Anhang A (informativ) Blitzerscheinungen im Zusammenhang mit WEA.....	55
Anhang B (informativ) Bewertung der Blitzeinwirkung.....	65
Anhang C (informativ) Schutzverfahren für Rotorblätter.....	84
Anhang D (informativ) Prüfspezifikation.....	95
Anhang E (informativ) Literaturhinweise	116
Anhang F (informativ) Anwendung der Konzeption der Blitzschutz-zonen auf Windenergieanlagen	119
Anhang G (informativ) Auswahl und Installation eines koordinierten Überspannungsschutzes in Windenergieanlagen.....	124
Anhang H (informativ) Weitere Informationen zu Potentialausgleich, Schirmung und Installationsverfahren.....	128
Anhang I (informativ) Prüfverfahren für Störfestigkeitsprüfungen auf der Systemebene	132
Anhang J (informativ) Erdungsanlage.....	134
Anhang K (informativ) Beispiel für definierte Messpunkte	142
Anhang L (informativ) Typischer Fragebögen für Blitzschäden.....	144
Anhang M (informativ) Überwachungssysteme	147
Anhang N (informativ) Leitfaden für kleine WEA – Mikroerzeugung	148

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 88/322/CD:2008 „Wind turbines – Part 24: Lightning protection“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 88 „Wind turbine systems“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 383 „Windenergieanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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
EN 50164-1	—	DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201)	VDE 0185-201
EN 50164-2	—	DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202)	VDE 0185-202
EN 50308	—	DIN EN 50308 (VDE 0127-100)	VDE 0127-100
—	IEC 60050	*	
HD 588.1 S1	IEC 60060-1	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1)	VDE 0432-1
EN 60060-2	IEC 60060-2	DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2)	VDE 0432-2
Normen der Reihe EN 60068	Normen der Reihe IEC 60068	Normen der Reihe DIN EN 60068	—
EN 60071-1	IEC 60071-1	DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1)	VDE 0111-1
EN 60071-2	IEC 60071-2	DIN EN 60071-2 (VDE 0111-2)	VDE 0111-2
EN 60099-4	IEC 60099-4	DIN EN 60099-4 (VDE 0675-4)	VDE 0675-4
EN 60099-5	IEC 60099-5	DIN EN 60099-5 (VDE 0675-5)	VDE 0675-5
EN 60204-1	IEC 60204-1	DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1)	VDE 0113-1
EN 60204-11	IEC 60204-11	DIN EN 60204-11 (VDE 0113-11)	(VDE 0113-11)
EN 60243-1	IEC 60243-1	DIN EN 60243-1 (VDE 0303-21)	VDE 0303-21
EN 60243-3	IEC 60243-3	DIN EN 60243-3 (VDE 0303-23)	VDE 0303-23
Normen der Reihe HD 60364	Normen der Reihe IEC 60364	Normen der Reihe DIN VDE 0100 (VDE 0100)	VDE 0100
prHD 60364-4-444	IEC 60364-4-44	DIN VDE 0100-444 (VDE 0100-444)	VDE 0100-444
—	IEC 60364-5-53	—	—
EN 60464-2	IEC 60464-2	DIN EN 60464-2 (VDE 0360-2)	VDE 0360-2
—	IEC 60479-1	DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1)	VDE V 0140-479-1
—	IEC 60479-4	DIN V VDE V 0140-479-4 (VDE V 0140-479-4)	VDE V 0140-479-4
EN 60587	IEC 60587	DIN EN 60587 (VDE 0303-10)	VDE 0303-10
EN 60664-1	IEC 60664-1	DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1)	VDE 0110-1
EN 61000-4-2	IEC 61000-4-2	DIN EN 61000-4-2 (VDE 0847-4-2)	VDE 0847-4-2
EN 61000-4-5	IEC 61000-4-5	DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847-4-5)	VDE 0847-4-5
EN 61000-4-9	IEC 61000-4-9	DIN EN 61000-4-9 (VDE 0847-4-9)	VDE 0847-4-9
—	IEC TR 61000-5-2	—	—
EN 61000-4-10	IEC 61000-4-10	DIN EN 61000-4-10 (VDE 0847-4-10)	VDE 0847-4-10
EN 61000-6-2	IEC 61000-6-2	DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2)	VDE 0839-6-2
—	IEC 61196-1	—	—

* „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, im Rahmen der Datenbankanwendung DIN-TERM zu beziehen über Beuth Verlag.

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	Normen der Reihe IEC 61400	–	–
–	IEC 61400-23	–	–
EN 61557-5	IEC 61557-5	DIN EN 61557-5 (VDE 0413-5)	VDE 0413-5
–	IEC 61643-1	–	–
CLC/TS 61643-12	IEC 61643-12	DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12)	VDE V 0675-6-12
EN 61643-21	IEC 61643-21	DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1)	VDE 0845-3-1
CLC/TS 61643-22	IEC 61643-22	DIN CLC/TS 61643-22 (VDE V 0845-3-2)	VDE V 0845-3-2
–	IEC TR 62066	DIN VDE 0184 (VDE 0184)	VDE 0184
–	IEC 62153-4-3	–	–
EN 62305-1	IEC 62305-1	DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1)	VDE 0185-305-1
EN 62305-2	IEC 62305-2	DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2)	VDE 0185-305-2
EN 62305-3	IEC 62305-3	DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)	VDE 0185-305-3
EN 62305-4	IEC 62305-4	DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)	VDE 0185-305-4
HD 637 S1	–	DIN VDE 0101 (VDE 0101)	VDE 0101

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12), *Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 12: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Auswahl und Anwendungsgrundsätze*

DIN CLC/TS 61643-22 (VDE V 0845-3-2), *Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 22: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Auswahl- und Anwendungsprinzipien*

DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201), *Blitzschutzbauteile – Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile*

DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202), *Blitzschutzbauteile – Teil 2: Anforderungen an Leitungen und Erder*

DIN EN 50308 (VDE 0127-100), *Windenergieanlagen – Schutzmaßnahmen – Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung*

DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Messsysteme*

Normen der Reihe
DIN EN 60068, *Umweltprüfungen*

DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1), *Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen*

DIN EN 60071-2 (VDE 0111-2), *Isolationskoordination – Teil 2: Anwendungsrichtlinie*

— Entwurf —

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

DIN EN 60099-4 (VDE 0675-4), *Überspannungsableiter – Teil 4: Metalloxidableiter ohne Funkenstrecken für Wechselspannungsnetze*

DIN EN 60099-5 (VDE 0675-5), *Überspannungsableiter – Teil 5: Anleitung für die Auswahl und die Anwendung*

DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1), *Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

DIN EN 60204-11 (VDE 0113-11), *Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 11: Anforderungen an Hochspannungsausrüstung für Spannungen über 1000 V Wechselspannung oder 1500 V Gleichspannung, aber nicht über 36 kV*

DIN EN 60243-1 (VDE 0303-21), *Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen – Prüfverfahren – Teil 1: Prüfungen bei technischen Frequenzen*

DIN EN 60243-3 (VDE 0303-23), *Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen – Prüfverfahren – Teil 3: Zusätzliche Festlegungen für Stoßspannungsprüfungen (1, 2/50 μ s)*

DIN EN 60464-2 (VDE 0360-2), *Elektroisolierlacke – Teil 2: Prüfverfahren*

DIN EN 60587 (VDE 0303-10), *Elektroisolierstoffe, die unter erschwerten Bedingungen eingesetzt werden – Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Kriechwegbildung und Erosion*

DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1), *Isulationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen*

DIN EN 61000-4-2 (VDE 0847-4-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-2: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität EN 61000-4-2*

DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847-4-5), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen*

DIN EN 61000-4-9 (VDE 0847-4-9), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-9: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder*

DIN EN 61000-4-10 (VDE 0847-4-10), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-10: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder*

DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereiche*

DIN EN 61557-5 (VDE 0413-5), *Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen – Teil 5: Erdungswiderstand*

DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1), *Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 21: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren*

DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1), *Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze*

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2), *Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management*

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), *Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen*

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4), *Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen*

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen*

DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1), *Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte*

Normen der Reihe

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

DIN VDE 0100-444 (VDE 0100-444), *Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-444: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen*

DIN VDE 0101 (VDE 0101), *Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV*

DIN VDE 0184 (VDE 0184), *Überspannungen und Schutz bei Überspannungen in Niederspannungs-Starkstromanlagen mit Wechselspannungen – Allgemeine grundlegende Informationen*

DIN VDE V 0140-479-4 (VDE V 0140-479-4), *Wirkungen des Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 4: Wirkungen von Blitzschlägen auf Menschen und Nutztiere*

Windenergieanlagen – Teil 24: Blitzschutz

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Norm gilt für den Blitzschutz von Windenergieanlagen und Windkraftanlagen.

Die Norm enthält normative Verweisungen auf Fachgrundnormen für Blitzschutz sowie für Niederspannungs- und Hochspannungsanlagen für Maschinen und Anlagen und für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).

Diese Norm definiert die Blitzumgebung für Windenergieanlagen und beschreibt die Anwendung der Umgebung für die Risikobewertung für die Windenergieanlage. Es werden Anforderungen an den Schutz von Rotorblättern, anderen Konstruktionselementen und elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen sowohl gegen direkte als auch indirekte Auswirkungen von Blitzen festgelegt. Außerdem werden Prüfverfahren zum Nachweis der Einhaltung der Anforderungen empfohlen.

Es sind Richtlinien für die Anwendung geltender Normen für den Blitzschutz, von elektrotechnischen Industrienormen und EMV-Normen einschließlich der Erdung angegeben.

Außerdem werden Richtlinien für die Sicherheit von Personen bereitgestellt.

Die Norm enthält Richtlinien für Schadensstatistiken und -berichte.

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 60050, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60068, *Environmental testing*

IEC 60071-1, *Insulation Coordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2, *Insulation Coordination – Part 2: Application guide*

IEC 60099-4, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 60099-5, *Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations*

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

IEC 60204-11, *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 60243-1, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60243-3, *Electrical strength of solid insulating materials – Test methods – Part 3: Additional requirements for 1,2/50 μ s impulse tests*

IEC 60364, *Electrical installations of buildings*

IEC 60364-4-44, *Electrical installations of buildings – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances – Clause 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin or due to switching*

IEC 60364-5-53, *Low-voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Protection, isolation, switching, control and monitoring*

IEC 60464-2, *Varnishes used for electrical insulation – Part 2: Methods of Test*

IEC 60479-1, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 60479-4, *Effects of current on human beings and livestock – Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock*

IEC 60587, *Electrical insulating materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test*

IEC TR 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

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

IEC 61000-4-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*

IEC 61196-1, *Coaxial communication cables – Part 1: Generic specification – General definitions and requirements*

IEC 61400-23, *Wind turbine generator systems – Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades*

IEC 61557-5, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 5: Resistance to earth*

IEC 61643-1, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 1: Performance requirements and testing methods*

IEC 61643-12, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 12: Selection and application principles*

IEC 61643-21, *Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

IEC 61643-22, *Low-voltage surge protective devices – Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Selection and application principles*

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

IEC TR 62066, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems – General basic information*

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method*

IEC 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

EN 50164-1, *Lightning Protection Components (LPC) – Part 1: Requirements for connection components*

EN 50164-2, *Lightning protection components (LPC) – Part 2: Requirements for conductors and earth electrodes*

EN 50308, *Wind turbines – Protective measures – Requirements for design, operation and maintenance*

CLC HD 637 S1, *Power installations exceeding 1 kV A.C*

SAE ARP 5412 A/EUROCAE ED-81, *Aircraft lightning environment and related test waveforms*

ITU-T K.20, *Recommendation K.20:2003, Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents*

ITU-T K.21, *Recommendation K.21:2003, Resistibility of telecommunications equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents*

3 Begriffe

Für die Anwendung des vorliegenden Teils von IEC 61400 gelten folgende Begriffe und Definitionen.

3.1

Fangeinrichtung

Teil einer äußeren Blitzschutzanlage mit Metallelementen wie Stangen, Maschenleitern oder Tragseilen für das Auffangen von Blitzen

3.2

mittlere Steilheit der Stirn eines Kurzentladungsstromes

mittlere Änderungsgeschwindigkeit des Stromes innerhalb eines Zeitintervalls $\Delta t = t_2 - t_1$

ANMERKUNG Sie wird angegeben als Differenz $\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$ der Stromwerte am Anfang und am Ende dieses Intervalls dividiert durch das Zeitintervall $\Delta t = t_2 - t_1$ (siehe Bild A.3).

3.3

Potentialausgleichsschiene

Schiene, mit der die metallischen Anlagen, Netz- und Telekommunikationsleitungen und weitere Kabel mit der Blitzschutzanlage verbunden werden können

3.4

Einfangfläche

A_d

die Einfangfläche eines Bauwerkes ist definiert als Bodenfläche, die die gleiche jährliche Häufigkeit direkter Blitzeinschläge wie das Bauwerk selbst aufweist

3.5

Verbindungskanal

Blitzkanal, der sich von einem Bauwerk aus als Reaktion auf ein äußeres elektrisches Feld aufbaut und der entweder durch einen geladenen Wolkenhimmel oder durch einen abwärts verlaufenden Blitzkanal entsteht und sich dem Bauwerk annähert

3.6

konventionelle Erdungsimpedanz

Verhältnis der Spitzenwerte von Erdungsspannung und Erdungsstrom, die im Allgemeinen nicht gleichzeitig auftreten

3.7

koordinierter Überspannungsschutz

Gruppe von Überspannungsschutzeinrichtungen, die fachgerecht ausgewählt, koordiniert und installiert werden, um Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen zu verringern

ANMERKUNG Die Koordination des Überspannungsschutzes muss die Anschlussstromkreise einbeziehen, um die Isolationskoordination des gesamten Systems sicherzustellen.

3.8

Ableitungssystem

Teil einer äußeren Blitzschutzanlage, das den Blitzstrom von der Fangeinrichtung zur Erdungsanlage leitet

3.9

Abwärtsblitz

Blitz, ausgelöst durch einen abwärts verlaufenden Blitzkanal von der Wolke zur Erde

ANMERKUNG Ein Abwärtsblitz besteht aus einer ersten Kurzentladung, der nachfolgende Kurzentladungen folgen können, und er kann eine Langentladung umfassen.

3.10

Erder

Teil oder Gruppe von Teilen der Erdungsanlage, der bzw. die den direkten elektrischen Kontakt mit der Erde herstellt und den Blitzstrom in der Erde verteilt

3.11

Erdungsanlage

Teil einer äußeren Blitzschutzanlage, der den Blitzstrom in die Erde leitet und dort verteilt

3.12

effektive Höhe

H

die effektive Höhe einer Windenergieanlage ist der höchste Punkt, den die Rotorblätter erreichen, d. h. die Nabenhöhe zuzüglich des Rotorradius

3.13

äußere Blitzschutzanlage

Teil der Blitzschutzanlage, bestehend aus einer Fangeinrichtung, einem Ableitungssystem und einer Erdungsanlage

ANMERKUNG Die Ableitung befindet sich oft innerhalb der Rotorblätter der Windenergieanlage.

3.14

Blitzladung

Q_{flash}

Zeitintegral des Blitzstromes über die gesamte Blitzdauer

3.15

Fundamenterder

Bewehrungsstahl eines Fundamentes oder zusätzliche Leiter, die in das Fundament eines Bauwerkes eingebettet sind und als Erder verwendet werden

3.16

flächenbezogene Blitzdichte

N_g

die flächenbezogene Blitzdichte im Jahresdurchschnitt ist die Anzahl der Blitze je Quadratkilometer bezogen auf das Gebiet, in dem sich das Bauwerk befindet

3.17

innere Blitzschutzanlage

Teil der Blitzschutzanlage, bestehend aus einem Blitzschutz-Potentialausgleich und/oder der elektrischen Isolation der äußeren Blitzschutzanlage

ANMERKUNG Die Einhaltung der Trennabstände und die Verringerung der elektromagnetischen Wirkungen eines Blitzstromes im Innenraum eines zu schützenden Bauwerkes können als Bestandteile einer inneren Blitzschutzanlage angesehen werden.

3.18

Auffangwirksamkeit

Wahrscheinlichkeit, mit der eine Fangeinrichtung einer Blitzschutzanlage eine Blitzentladung auffängt

3.19

Blitzkanal-Verbindungspunkt

Stelle im Luftspalt zwischen Prüfling und Hochspannungselektrode, an der sich positive und negative Blitzkanäle treffen und die Entladung ausgelöst wird

3.20

LEMP-Schutzsystem

LPMS

(en: LEMP protection measures system)

vollständiges System der Schutzmaßnahmen für innere Anlagen gegen elektromagnetische Blitzimpulse (LEMP)

3.21

Blitzstrom

i

am Einschlagpunkt fließender Strom

3.22

elektromagnetischer Blitzimpuls

LEMP

(en: lightning electromagnetic impulse)

elektromagnetische Auswirkungen des Blitzstromes

ANMERKUNG Dazu gehören leitungsgeführte Stoßwellen sowie Auswirkungen des abgestrahlten elektromagnetischen Impulsfeldes.

3.23

Blitzschutz-Potentialausgleich

Potentialausgleich von voneinander getrennten Metallteilen der Blitzschutzanlage durch direkte leitende Verbindungen oder mit Überspannungsschutzeinrichtungen zur Verringerung der von einem Blitzstrom verursachten Potentialunterschiede

3.24

Blitzeinschlag in ein Bauwerk

Blitz, der in ein zu schützendes Bauwerk einschlägt

3.25

Erdblitz

elektrische Entladung atmosphärischen Ursprungs zwischen Wolke und Erde, bestehend aus einem Überschlag oder mehreren Überschlägen

ANMERKUNG Ein negativer Blitz verringert die negative Ladung zwischen der Gewitterwolke und Erde. Ein positiver Blitz führt zur Übertragung einer positiven Ladung von der Gewitterwolke zur Erde.

3.26

Gefährdungspegel

LPL

(en: lightning protection level)

Zahlenwert, der sich auf eine Menge von Parameterwerten des Blitzstromes bezieht und maßgeblich für die Wahrscheinlichkeit ist, dass die zugehörigen Größt- und Kleinstwerte der Auslegung bei einem natürlich auftretenden Blitz nicht überschritten werden

ANMERKUNG Der Gefährdungspegel wird zur Planung der Schutzmaßnahmen entsprechend der zugehörigen Menge von Blitzstromparametern verwendet.

3.27

Blitzschutzanlage

BSA

vollständige Anlage, die zur Verringerung physikalischer Schäden an einem Bauwerk durch Blitzeinschläge eingesetzt wird

ANMERKUNG Sie besteht aus einer äußeren und einer inneren Blitzschutzanlage.

3.28

Blitzschutzzone

LPZ

(en: lightning protection zone)

Zone, in der die elektromagnetische Umgebung hinsichtlich der Blitzgefährdung festgelegt ist

ANMERKUNG Die Zonengrenzen einer LPZ sind nicht unbedingt physikalische Grenzen (z. B. Wände, Boden oder Decke).

3.29

Blitzentladung

Einzelentladung in einem Erdblitz

3.30

Langentladung

Teilblitz, der einem Langzeitstrom entspricht

ANMERKUNG Die Dauer T_{long} dieses Langzeitstromes (Dauer vom 10-%-Wert der Stirn bis zum 10-%-Wert des Rückens) ist üblicherweise größer als 2 ms und kleiner als 1 s (siehe Bild A.4).

3.31

magnetische Schirmung

geschlossene metallische gitterartige oder durchgängige Schirmung, die das zu schützende Bauwerk oder einen Teil davon umgibt, um Ausfälle elektrischer und elektronischer Systeme zu verringern

ANMERKUNG Die Schutzwirkung der magnetischen Schirmung wird durch Schwächung des magnetischen Feldes erzielt.

3.32

metallische Installationen

Metallteile im Bauwerk, die einen Pfad für den Blitzstrom bilden können, wie z. B. die Grundplatte der Gondel, Führungsschienen und Seile von Aufzügen, Leitern, Plattformen und durchverbundener Bewehrungsstahl

3.33

Mehrfachentladungen

Blitz, der durchschnittlich aus drei bis vier Entladungen besteht; der typische Zeitabstand zwischen den Entladungen beträgt etwa 50 ms

ANMERKUNG Es wurden Ereignisse mit bis zu einigen Dutzend Entladungen und Zeitintervallen zwischen den Entladungen im Bereich von 10 ms bis 250 ms beobachtet.

3.34

„natürliche“ Bauteile einer Blitzschutzanlage

leitendes Bauteil, das nicht speziell für den Blitzschutz eingebaut wurde, welches jedoch zusätzlich zur Blitzschutzanlage angewendet werden kann oder in einigen Fällen die Funktion eines Teils oder mehrerer Teile der Blitzschutzanlage übernehmen kann

ANMERKUNG Beispiele für die Anwendung dieses Begriffes sind:

- natürliche Fangeinrichtungen;
- natürliche Ableitung;
- natürlicher Erder.

3.35

Anzahl gefährlicher Ereignisse durch Blitzeinschläge in ein Bauwerk

N_d

jährlich erwartete Anzahl gefährlicher Ereignisse durch Blitzeinschläge in ein Bauwerk

3.36

Spitzenwert

I

Höchstwert des Blitzstromes

3.37

Einschlagpunkt

Punkt, an dem ein Blitz die Erde oder ein hervorstehendes Objekt (z. B. Gebäude, Blitzschutzanlage, Versorgungsleitung, Baum usw.) trifft

ANMERKUNG Ein Blitz kann mehr als einen Einschlagpunkt haben.

3.38

Aufnehmer

Form einer Fangeinrichtung an den Rotorblättern einer Windenergieanlage, z. B. einzelne Metallbolzen durch die Blattoberfläche verbunden mit einem Ableitungssystem

3.39

Schadensrisiko

R

wahrscheinlicher durchschnittlicher jährlicher Verlust (Personen und Güter) durch Blitzeinschlag bezogen auf den Gesamtwert (Personen und Güter) des zu schützenden Bauwerkes

3.40

Trennabstand

Abstand zwischen zwei leitenden Teilen, bei dem keine gefährliche Funkenentladung entstehen kann

3.41

Versorgungsleitung

Netz- oder Telekommunikationsleitung, die mit dem zu schützenden Bauwerk verbunden ist

3.42

Kurzentladung

Teilblitz, der einem Stoßstrom entspricht

ANMERKUNG Dieser Strom hat eine Halbwertszeit T_2 von üblicherweise weniger als 2 ms (siehe Bild A.3).

3.43

mit I_{imp} geprüfte Überspannungsschutzeinrichtung

Überspannungsschutzeinrichtungen, die dem Teilblitzstrom mit einer typischen Kurvenform von 10/350 μs standhalten, erfordern einen entsprechenden Prüf-Stoßstrom I_{imp}

ANMERKUNG Für Netzleitungen ist in IEC 61643-1, Prüfverfahren Klasse I, ein geeigneter Prüfstrom I_{imp} festgelegt.

3.44

mit I_n geprüfte Überspannungsschutzeinrichtung

Überspannungsschutzeinrichtungen, die induzierten Stoßströmen mit einer typischen Kurvenform von $8/20 \mu s$ standhalten, erfordern einen entsprechenden Prüf-Stoßstrom I_n

ANMERKUNG Für Netzleitungen ist in IEC 61643-1, Prüfverfahren Klasse II, ein geeigneter Prüfstrom I_n festgelegt.

3.45

spezifische Energie

W/R

Zeitintegral des Quadrates des Blitzstromes über der gesamten Blitzdauer

ANMERKUNG Sie stellt die vom Blitzstrom an einen Einheitswiderstand abgegebene Energie dar.

3.46

Stoßwelle

durch LEMP verursachte transiente Welle, die als Überspannung und/oder Überstrom auftritt

ANMERKUNG 1 Durch LEMP verursachte Stoßwellen können durch (Teil-)Blitzströme, durch Induktion in Installations-schleifen und als Reststoßwelle hinter einer Überspannungsschutzeinrichtung entstehen.

ANMERKUNG 2 Stoßwellen können durch andere Quellen wie Schaltvorgänge oder Ansprechen von Sicherungen entstehen.

3.47

Überspannungsschutzeinrichtung

SPD

(en: surge protective device)

Einrichtung, die dazu bestimmt ist, transiente Überspannungen zu begrenzen und Stoßströme abzuleiten; sie enthält mindestens ein nichtlineares Bauelement

3.48

Gewittertage

T_d

Anzahl der Gewittertage im Jahr, die isokeraunischen Karten entnommen werden kann

3.49

akzeptierbares Schadensrisiko

R_T

Größtwert eines Schadensrisikos, der für ein zu schützendes Bauwerk akzeptierbar ist

3.50

Aufwärtsblitz

Blitz, ausgelöst durch einen aufwärts verlaufenden Blitzkanal von einem geerdeten Bauwerk zur Wolke

ANMERKUNG Ein Aufwärtsblitz besteht aus einer ersten Langentladung mit überlagerten oder ohne überlagerte Mehrfach-Kurzentladungen. Einer Kurzentladung oder mehreren Kurzentladungen kann eine Langentladung folgen.

3.51

Spannungsschutzpegel

U_p

ein Parameter, der die Leistungsfähigkeit der Überspannungsschutzeinrichtung durch Begrenzung der aus einer Liste von Vorzugsspannungen ausgewählten Spannung über ihren Anschlüssen beschreibt; dieser Wert muss größer sein als der Höchstwert der gemessenen Grenzspannungen

4 Symbole und Einheiten

A_d	Einfangfläche von Blitzeinschlägen in ein freistehendes Bauwerk
A_i	Einfangfläche von Blitzeinschlägen in eine Versorgungsleitung
A_l	Einfangfläche von Blitzeinschlägen neben einer Versorgungsleitung
A_m	Einflussfläche von Blitzeinschlägen neben einem Bauwerk
c_S	latente Schmelzwärme
c_t	Gesamtwert des Bauwerkes in Geldeinheiten
c_W	Wärmekapazität
C	Mittelwert des möglichen Verlustes
C_e	Umgebungsfaktor
C_d	Standortfaktor
C_t	Korrekturfaktor für einen Hochspannungs-/Niederspannungstransformator an der Versorgungsleitung
D1	Verletzung von Lebewesen
D2	physikalische Schäden
D3	Ausfall elektrischer und elektronischer Systeme
h_z	Faktor, der den Verlust erhöht, wenn eine besonderen Gefährdung vorliegt
I	Strom
I	Spitzenstrom
I_n	Prüf-Nennstrom; Entladungsstrom
I_t	Strom im Kabelschirm
I_{imp}	Prüf-Stoßstrom
di/dt	Ableitung des Stromes nach der Zeit, mittlere Steilheit
$di/dt_{30/90} \%$	Steilheit des Stromes zwischen 30 % und 90 % der höchsten Amplitude der Stirn
L_A	Verlust bezogen auf die Verletzung von Lebewesen
L_B	Verlust in einem Bauwerk bezogen auf physikalische Schäden (Blitzeinschläge in ein Bauwerk)
L_C	Verlust bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (Blitzeinschläge in die Versorgungsleitung)
L_M	Verlust bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (Blitzeinschläge neben einem Bauwerk)
L_U	Verlust bezogen auf die Verletzung von Lebewesen (Blitzeinschläge in die Versorgungsleitung)
L_V	Verlust in einem Bauwerk durch physikalische Schäden (Blitzeinschläge in die Versorgungsleitung)
L_W	Verlust bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (Blitzeinschläge in die Versorgungsleitung)
L_f	Verlust durch Verletzungen durch Berührungs- und Schrittspannungen
L_o	Verlust durch physikalische Schäden
L_t	Verlust durch den Ausfall innerer Systeme
L_x	Ausmaß des Folgeverlustes für das Bauteil x

L_z	Verlust bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (Blitzeinschläge neben einer Versorgungsleitung)
L_1	Verlust von Menschenleben in einem Bauwerk
L_2	Verlust einer Dienstleistung für die Öffentlichkeit in einem Bauwerk
L_3	Verlust von unersetzlichem Kulturgut in einem Bauwerk
L_4	wirtschaftlicher Verlust in einem Bauwerk
n_p	Anzahl möglicher gefährdeter Personen (Opfer)
n_t	Gesamtanzahl der betroffenen Personen in einem Bauwerk
N_D	jährliche Anzahl der gefährlichen Ereignisse durch Blitzeinschläge in ein Bauwerk
N_x	jährliche Anzahl der gefährlichen Ereignisse für ein Bauteil x
N_d	jährliche Anzahl der Blitzeinschläge in ein Bauwerk
N_M	jährliche Anzahl der Blitzeinschläge neben einem Bauwerk
N_L	jährliche Anzahl der Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung
N_l	jährliche Anzahl der Blitzeinschläge neben einer Versorgungsleitung
$N_{d, x}$	jährliche Anzahl der Blitzeinschläge in ein Bauwerk am Ende „x“ einer Versorgungsleitung
N_g	jährliche flächenbezogene Blitzdichte
P_A	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge in ein Bauwerk einen elektrischen Schlag bei Lebewesen verursachen
P_B	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge in ein Bauwerk physikalische Schäden verursachen
P_C	Wahrscheinlichkeit des Ausfalls innerer Systeme durch Blitzeinschläge in ein Bauwerk
P_{LD}	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung den Ausfall innerer Systeme verursachen
P_{LI}	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge neben einer Versorgungsleitung den Ausfall innerer Systeme verursachen
P_M	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge neben einem Bauwerk den Ausfall innerer Systeme verursachen
P_{SPD}	Ausfallwahrscheinlichkeit innerer Systeme unter der Annahme, dass ein SPD-Schutz angewendet wird
P_U	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung die Verletzung von Lebewesen verursachen
P_V	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung physikalische Schäden verursachen
P_V	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung den Ausfall innerer Systeme verursachen
P_x	Wahrscheinlichkeit der Beschädigung eines Bauwerkes x
P_Z	Wahrscheinlichkeit, dass Blitzeinschläge neben einer Versorgungsleitung den Ausfall innerer Systeme verursachen
r_a	Reduktionsfaktor, der die Art des Fußbodens berücksichtigt
r_f	Faktor, um den in Abhängigkeit von der Brandgefahr der Verlust durch physikalische Schäden verringert wird

r_p	Faktor, um den in Abhängigkeit von ergriffenen Maßnahmen der Verlust durch physikalische Schäden verringert wird
r_u	Faktor, um den in Abhängigkeit von der Bodenart der Verlust von Menschenleben verringert wird
R	Risiko
R	Blitzkugelradius
R_S	Widerstand der Kabelschirmung je Längeneinheit
R_T	akzeptierbares Schadensrisiko
R_x	Risikokomponente x
S	Abstand zwischen Stäberdern
t_p	Zeit in Stunden je Jahr, in der sich Personen an einer gefährlichen Stelle aufhalten
t oder T	Zeit
Δt	Zeitintervall
t_x	Zeitparameter
t_{long}	Dauer einer Langentladung
T_d	Gewittertage
$u_{a, c}$	Anoden- oder Kathodenspannungsabfall
U_C	Spannung zwischen Schirm und Leiter eines Kabels
U_W	Steh-Stoßspannung
U_p	Spannungsschutzpegel
Q	Ladung des Blitzstromes
Q_{flash}	Blitzladung
Q_{short}	Ladung der Kurzentladung
Q_{long}	Ladung der Langentladung
W/R	spezifische Energie
Z_T	Transferimpedanz
α	Temperaturkoeffizient des Widerstandes (1/K)
γ	Werkstoffdichte
μ_0	Permeabilität der Luft (Vakuum)
Φ	magnetischer Fluss
P	spezifischer Widerstand
ρ_0	spezifischer ohmscher Widerstand bei Umgebungstemperatur
θ	Temperatur
θ_0	Anfangstemperatur
θ_s	Schmelztemperatur
θ_u	Umgebungstemperatur

A	Ampere
kA	Kiloampere
C	Coulomb
°C	Grad Celsius
H	Henry
K	Kelvin
S	Siemens
g	Gramm
kg	Kilogramm
MJ	Megajoule
µm	Mikrometer
mm	Millimeter
cm	Zentimeter
m	Meter
km	Kilometer
ms	Millisekunde
Ω	Ohm
s	Sekunde
µs	Mikrosekunde
V	Volt
Wb	Weber

5 Abkürzungen

BSA	Blitzschutzanlage
LPL	Gefährdungspegel (en: lightning protection level)
LPZ	Blitzschutzzone (en: lightning protection zone)
LEMP	elektromagnetischer Blitzimpuls (en: lightning electromagnetic impulse)
LPMS	System der Blitzschutzmaßnahmen (en: lightning protection measures system)
SEMP	elektromagnetischer Schaltimpuls (en: switching electromagnetic impulse)
SPD	Überspannungsschutzeinrichtung (en: surge protective device)
PE	Schutzerdung (en: protective earth)
OCPD	Überstromschutzeinrichtung (en: overcurrent protection device)
QA	Qualitätssicherungssystem (en: quality assurance system)
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
CFK	kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
CFC	Kohlenstofffaser Komposit (en: Carbon fibre Composite)

6 Blitzumgebung von Windenergieanlagen

Die Blitzumgebung von Windenergieanlagen (WEA) in Abhängigkeit von den Parameterwerten des Blitzstromes, die für die Auslegung, die Analyse und die Prüfung von BSA anzuwenden sind, ist in IEC 62305-1 festgelegt.

Eine informative Erläuterung der Blitzerscheinung in Bezug auf WEA ist im Anhang A enthalten.

6.1 Blitzstromparameter und Gefährdungspegel

In IEC 62305-1 werden vier Gefährdungspegel (I bis IV) eingeführt. Für jeden LPL ist eine Menge von Größt- und Kleinstwerten der Blitzstromparameter festgesetzt.

Die für LPL I geltenden Größtwerte der Blitzstromparameter werden mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % nicht überschritten. Für LPL II werden die für LPL I geltenden Größtwerte der Blitzstromparameter auf 75 % verringert und für LPL III und IV auf 50 % (für I , Q und di/dt linear, aber für W/R quadratisch). Die Zeitparameter bleiben unverändert.

Tabelle 1 – Größtwerte von Blitzparametern nach LPL (IEC 62305-1, Tabelle 5)

Erste positive Kurzentladung			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Spitzenstrom	I	kA	200	150	100	
Ladung der Kurzentladung	Q_{short}	C	100	75	50	
Spezifische Energie	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Zeitparameter	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350			
Erste negative Kurzentladung ¹⁾			LPL			
Spitzenstrom	I	kA	100	75	50	
Mittlere Steilheit	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Zeitparameter	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	1/200			
Nachfolgende Kurzentladung ¹⁾			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Spitzenstrom	I	kA	50	37,5	25	
Mittlere Steilheit	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Zeitparameter	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25/100			
Langentladung			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Langentladung	Q_{long}	C	200	150	100	
Zeitparameter	T_{long}	s	0,5			
Blitz			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Blitzladung	Q_{flash}	C	300	225	150	

¹⁾ Diese Kurvenform gilt nur für Berechnungen und nicht für Prüfungen.

¹⁾ Diese Kurvenform gilt nur für Berechnungen und nicht für Prüfungen.

Tabelle 1 gibt die Größtwerte der Blitzstromparameter für die verschiedenen Gefährdungspegel an, die für die Auslegung der Blitzschutzkomponenten (z. B. Leiterquerschnitt, Dicke von Metallblechen, Strombelastbarkeit von SPDs, Abschottung gegen gefährliche Funkenbildung) und zur Festlegung von Prüfparametern, die die Blitzwirkung auf solche Komponenten nachbilden, benutzt werden (siehe Anhang D und IEC 62305-1).

Die Kleinstwerte der Blitzstromamplitude für die verschiedenen LPLs werden zur Ableitung des Blitzkugelradius benutzt, um damit die Blitzschutzzone LPZ 0_B festzulegen, die keinen Blitzeinschlägen ausgesetzt ist. In Tabelle 2 sind die Kleinstwerte der Blitzstromparameter zusammen mit dem zugehörigen Blitzkugelradius angegeben. Sie werden zur Anordnung der Fangeinrichtung und zur Festlegung der Blitzschutzzone LPZ 0_B angewendet.

**Tabelle 2 – Kleinstwerte von Blitzparametern und zugehöriger Blitzkugelradius nach dem LPL
(IEC 62305-1, Tabelle 6)**

Auffangkriterium			LPL			
	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Kleinsten Spitzenstrom	I	kA	3	5	10	16
Blitzkugelradius	r	m	20	30	45	60

ANMERKUNG Bei WEA, die in bestimmten geografischen Gebieten errichtet werden, in denen sie besonders im Winter einer großen Anzahl von Aufwärtsblitzen ausgesetzt sind, kann es unter Berücksichtigung einer Blitzladung über den Wert für den Gefährdungspegel I von $Q_{\text{flash}} = 300 \text{ C}$ hinaus erforderlich sein, die notwendige Dauerhaftigkeit der Fangeinrichtungen (z. B. Aufnehmer) zu erhöhen, da dieser Parameter den Verschleiß (Schmelzen) von Werkstoffen bestimmt und damit die Notwendigkeit der Wartung von Fangeinrichtungen beeinflusst.

7 Bewertung der Blitzeinwirkung

WEA sind hohe Bauwerke, die oft so aufgestellt sind, dass sie Blitzen ungeschützt ausgesetzt sind. Es ist seit langem anerkannt, dass WEA als Schutzmaßnahme gegen wirtschaftliche Verluste durch Beschädigung und Ertragsverluste, als Schutz gegen die Gefährdung von Lebewesen (in erster Linie Bedienpersonal) und als Mittel zur Verringerung der notwendigen Wartung generell gegen Blitze geschützt werden müssen.

Bei der Planung einer BSA sollten das Risiko eines Blitzeinschlages und/oder die mögliche Beschädigung des betreffenden Bauwerkes berücksichtigt werden. Blitzschäden einer ungeschützten WEA können in Form einer Beschädigung der Rotorblätter, der mechanischen Teile und der elektrischen Systeme sowie des Betriebsführungssystems auftreten. Darüber hinaus sind Menschen in WEA und deren Nähe Gefährdungen durch Schritt- oder Berührungsspannungen oder durch Explosionen oder Brände als Folge eines Blitzeinschlages ausgesetzt.

Der Zweck einer BSA ist die Herabsetzung der Gefährdungen auf ein akzeptierbares Schadensrisiko R_T . Wenn die Sicherheit von Menschen betroffen ist, wird das akzeptierbare Schadensrisiko von einem vertretbaren Risiko bestimmt. Liegt das Schadensrisiko unterhalb des für Menschen vertretbaren Risikos, darf die Notwendigkeit eines weiteren Schutzes auf einer rein ökonomischen Analyse gegründet werden, wobei eine Abwägung der Kosten für die BSA gegenüber den Kosten des möglichen Schadens, der durch die BSA verhindert werden soll, erfolgt.

Diese Bewertung wird unter der Verantwortung einer Behörde mit Gerichtsbarkeit für die Festlegung des Wertes des akzeptierbaren Schadensrisikos durchgeführt. Ein repräsentativer Wert für das akzeptierbare Schadensrisiko R_T , bei dem Blitzeinschläge den Verlust von Menschenleben oder dauerhafte Verletzungen verursachen, ist 10^{-5} pro Jahr.

ANMERKUNG Werte für ein akzeptierbares Schadensrisiko sind in IEC 62305-2, Tabelle 7, angegeben.

Das Risiko dafür, dass Blitze in ein Bauwerk einschlagen, ist eine Funktion der Höhe des Bauwerkes, der örtlichen Topografie und der örtlichen Blitzaktivität. Risiken in Verbindung mit Blitzen können im Einzelnen nach IEC 62305-2 bewertet werden. Da die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren sehr kompliziert sind, wird hier ein Leitfaden angegeben, wie eine einfache Bewertung der Blitzeinwirkung für freistehende WEA durchgeführt und diese Bewertung auf Gruppen von WEA und Windparks ausgeweitet werden kann.

Es sollten möglichst Informationen über örtliche Blitzaktivitäten erfasst werden (z. B. in nördlichen geographischen Breitenlagen, in denen Winterblitze eine besondere Gefährdung darstellen können).

Als Warnung sollte erwähnt werden, dass eine derartige Risikobewertung nie genauer sein kann, als die für die Berechnung eingegebenen Informationen, und außerdem sollte der Anwender keine sehr genaue kurzfristige Vorhersage der Anzahl der Blitzereignisse für freistehende WEA oder Windparks erwarten, weil eine wahrscheinlichkeitstheoretische Bewertung erfolgt, weil die Informationen über das Auftreten von Blitzen statistische Mittelwerte sind und weil das Blitzereignis selbst stochastischer Natur ist. Dennoch ermöglicht eine Risikobewertung die Beurteilung der Herabsetzung des Schadensrisikos, die durch Anwendung eines Blitzschutzes erzielt wird, und sie ermöglicht beispielsweise den Vergleich von Schadensrisiken für unterschiedliche WEA-Projekte. Weitere Einzelheiten sind im Anhang B angegeben.

7.1 Bewertung der Blitzschlaghäufigkeit für eine WEA

Die erste Stufe einer Risikoanalyse hinsichtlich von Blitzeinschlägen ist die Abschätzung der Häufigkeit von Blitzeinschlägen in die WEA. IEC 62305-2 enthält eine Anwendungsrichtlinie, wie diese Zahl ermittelt werden kann. Bei der Bewertung der Häufigkeit von Blitzeinschlägen in ein Bauwerk ist die Erfassung von Angaben über die örtliche flächenbezogene Blitzdichte (N_g) erforderlich. Nationale Organisationen wie meteorologische Dienste können diese Informationen bereitstellen. Liegen keine Angaben zur flächenbezogenen Blitzdichte vor, kann sie mit folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$N_g \approx 0,1 \cdot T_d \quad (1)$$

Dabei ist

N_g [$\text{km}^{-2} \cdot \text{Jahr}^{-1}$]	durchschnittliche jährliche flächenbezogene Blitzdichte
T_d [Jahr^{-1}]	Anzahl der Gewittertage im Jahr, ermittelt mit isokeraunischen Karten (üblicherweise erhältlich bei nationalen meteorologischen Diensten)

Die durchschnittliche jährliche Anzahl gefährlicher Ereignisse, die eine WEA gefährden können, können eingeteilt werden in:

N_D [Jahr^{-1}]	Blitzeinschläge in die WEA
N_M [Jahr^{-1}]	Blitzeinschläge neben der WEA (im Umkreis von 250 m)
N_L [Jahr^{-1}]	Blitzeinschläge in Versorgungsleitungen, die mit der WEA verbunden sind, d. h. Netz- und Kommunikationsleitungen, die mit der WEA verbunden sind
N_I [Jahr^{-1}]	Blitzeinschläge neben Versorgungsleitungen, die mit der WEA verbunden sind, d. h. Netz- und Kommunikationsleitungen, die mit der WEA verbunden sind
$N_{D, b}$ [Jahr^{-1}]	Blitzeinschläge in eine WEA oder in ein anderes Bauwerk am (anderen) Ende „b“ der Versorgungsleitung, die bzw. das mit der betreffenden WEA verbunden ist.

Die durchschnittliche jährliche Häufigkeit von Blitzeinschlägen in die WEA kann angegeben werden mit:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

Dabei ist

A_d [m^2]	Einfangfläche für Blitzeinschläge in das Bauwerk
C_d	Umgebungsfaktor

Die zutreffenden Werte sind $C_d = 1$ für WEA auf ebenem Land und $C_d = 2$ für WEA auf einer Anhöhe oder einem Bergrücken.

ANMERKUNG 1 WEA, die an Orten aufgestellt werden, für die bekannt ist, dass sie im Allgemeinen vielen Blitzen oder im Besonderen Winterblitzen ausgesetzt sind, darf ein höherer Umgebungsfaktor C_d zugeordnet werden, um die unter diesen Bedingungen ausgelösten Aufwärtsblitze zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Offshore-Windturbinen darf ein Umgebungsfaktor C_d von 3 bis 5 zugeordnet werden, damit eine realistische Schätzung der Häufigkeit von Blitzeinschlägen erzielt wird.

Die Einfangfläche eines Bauwerkes ist definiert als die Bodenfläche mit derselben jährlichen Häufigkeit von Erdblitzen, wie sie in das Bauwerk einschlagen. Bei freistehenden Bauwerken entspricht die äquivalente Einfangfläche der Fläche, die von einer Grenzlinie vom Erdboden mit der Steigung 1:3 zum höchsten Punkt des Bauwerks verläuft (und es dort berührt) und das Bauwerk kreisförmig umschließt.

Es ist empfehlenswert, alle WEA als einen hohen Mast mit einer Höhe, die der Nabenhöhe zuzüglich des Rotorradius entspricht, zu betrachten. Dies gilt für alle WEA unabhängig von der Bauart der Rotorblätter einschließlich von Rotorblättern, die ausschließlich aus nichtleitenden Werkstoffen wie glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt sind.

Bild 1 zeigt die Einfangfläche für eine WEA auf ebenem Boden. Es wird deutlich, dass sich die Einfangfläche als Kreis mit dem dreifachen Radius der WEA-Höhe ergibt.

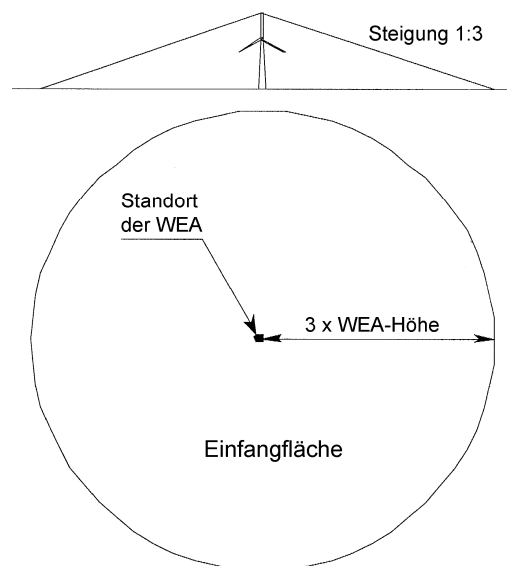


Bild 1 – Einfangfläche der WEA

Die folgende Gleichung kann zur Abschätzung der jährlichen Anzahl von Blitzeinschlägen in eine WEA auf ebenem Boden verwendet werden:

$$N_d = N_g \cdot A_d \cdot 10^{-6} = N_g \cdot 9\pi \cdot H^2 \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

Dabei ist

H [m] Höhe der WEA

In einem komplexeren Gelände ist es zweckmäßig, die effektive Höhe der WEA einschließlich der Lagehöhe der WEA zu betrachten, wenn diese z. B. auf einer Anhöhe oder einem Bergrücken errichtet ist (siehe Bild 2). IEC 62305-2 liefert eine Anwendungsrichtlinie für Bauwerke in komplexem Gelände oder in der Nähe weiterer Bauwerke.

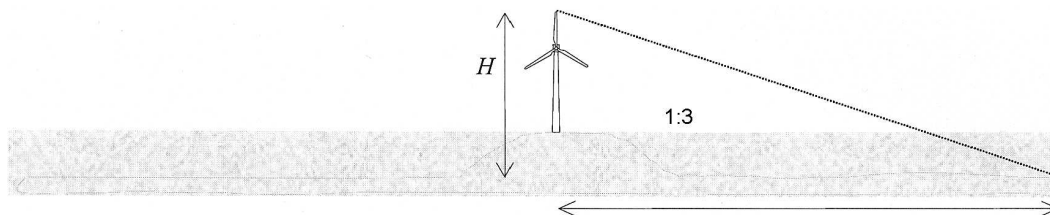


Bild 2 – Effektive Höhe H einer WEA auf einer Anhöhe

Darüber hinaus können WEA durch Blitzeinschläge neben der WEA gefährdet werden:

$$N_M = N_g \cdot (A_m - A_d C_d) \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Dabei ist

A_m [m²] Einfangfläche für Blitzeinschläge neben einem Bauwerk im Umkreis von 250 m

Wenn eine WEA und die angeschlossenen Versorgungsleitungen mit einem ordnungsgemäßen Blitzschutz ausgerüstet sind, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Schutz auch auf den Schutz gegen Beschädigung der WEA durch Blitzeinschläge neben der WEA und neben den mit der WEA verbundenen Versorgungsleitungen erstreckt.

Große WEA sind gewöhnlich mit einem Sammelsystem von Hochspannungs-Netzkabeln und über eine Kommunikationsleitung auch mit einer äußeren Schaltwarte verbunden, wobei beide Versorgungsleitungen durch Blitzeinschläge in die und neben der Versorgungsleitung beeinflusst werden können (siehe Bild 3). Falls die Kommunikationsleitung eine Lichtwellenleiterverbindung ist (was empfehlenswert ist), darf das Schadensrisiko von Blitzen, die die Kommunikationsleitung beschädigen, vernachlässigt werden.

Die Anzahl von Blitzeinschlägen in eine Versorgungsleitung, die mit einer WEA verbunden ist, kann nach IEC 62305-2, Anhang A, wie folgt abgeschätzt werden:

$$N_L = C_d \cdot C_t \cdot N_g \cdot A_l \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Die Anzahl von Blitzeinschlägen neben einer Versorgungsleitung (d. h. so nah, dass die Leitung beeinflusst wird) kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$N_i = C_e \cdot C_t \cdot N_g \cdot A_i \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

Dabei ist

C_d Standortfaktor: 1 in ebenem Gelände und 2 in hügeligem Gelände

C_e Umgebungsfaktor, der für ländliche Gebiete 1 ist

C_t Transformatorfaktor

A_l [m²] Einfangfläche von Blitzeinschlägen in die Versorgungsleitung

A_i [m²] Einfangfläche von Blitzeinschlägen neben der Versorgungsleitung

Wenn sich zwischen Blitzeinschlagpunkt und WEA kein Transformator befindet, ist der Transformatorfaktor $C_t = 1$, wenn sich dort ein Transformator befindet, ist er $C_t = 0,2$. Da für große WEA gewöhnlich ein Hochspannungstransformator benutzt wird, kann für Mittelspannungsleitungen, die die WEA mit dem Netz verbinden, $C_t = 0,2$ angenommen werden (siehe IEC 62305-2, Anhang A).

ANMERKUNG Für im Wasser verlegte Versorgungsleitungen gilt $C_d = 0$ (unter Wasser verlegte Hochspannungs- und Kommunikationsleitungen).

Tabelle 3 – Einfangflächen A_i und A_l der Versorgungsleitung in Abhängigkeit von der Verlegungsart (IEC 62305-2, Anhang A)

	Freileitung	Erdverlegung
A_l	$(L_c - 3 (H_a + H_b)) 6 H_c$	$(L_c - 3 (H_a + H_b)) \sqrt{\rho}$
A_i	$1\,000 L_c$	$25 L_c \sqrt{\rho}$

- L_c [m] Länge der Versorgungsleitung von der WEA zum nächsten Bauwerk an der Leitung. Es sollte ein Höchstwert von $L_c = 1\,000$ m angenommen werden
- H_a [m] Höhe der mit dem Ende „a“ der Versorgungsleitung verbundenen WEA
- H_b [m] Höhe der mit dem Ende „b“ der Versorgungsleitung verbundenen WEA (oder eines anderen Bauwerkes)
- H_c [m] Höhe der Leiter der Versorgungsleitung über dem Erdboden
- ρ [Ω m] spezifischer Widerstand des Erdbodens, in dem die Versorgungsleitung verlegt ist. Es sollte ein Höchstwert von $\rho = 500$ Ω m angenommen werden.

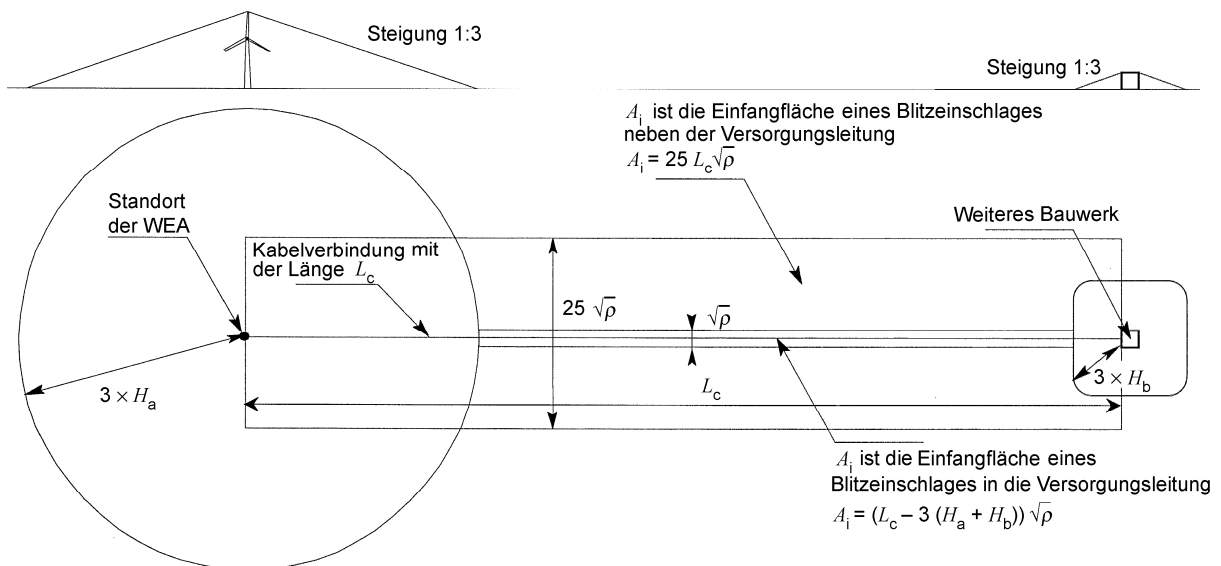


Bild 3 – Einfangfläche einer WEA der Höhe H_a und eines weiteren Bauwerkes der Höhe H_b , die durch ein Erdkabel der Länge L_c verbunden sind. Blitzeinschläge innerhalb des engeren Bereiches A_i entlang der Kabelstrecke können das Kabel direkt durchdringen und beeinflussen, während Blitzeinschläge innerhalb des weiteren Bereiches A_l Transienten bedingen und Nadellochdurchschläge der Kabelisolation verursachen können.

ANMERKUNG In Windparks überlappen sich die Einfangflächen von benachbarten WEA häufig. In diesen Fällen sollten die Einfangflächen zwischen den WEA einfach dort aufgeteilt werden, wo sich die 1:3-Steigungslinien von der Spitze der WEA schneiden.

7.2 Bewertung des Schadensrisikos

7.2.1 Grundgleichung

Das Risiko, dass Blitze eine WEA beschädigen und dadurch finanzielle Verluste verursachen, kann als Summe vieler Risikokomponenten angesehen werden. Jede Risikokomponente kann mit der folgenden allgemeinen Gleichung angegeben werden:

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (7)$$

Dabei ist

- N_x [Jahr⁻¹] Häufigkeit gefährlicher Ereignisse pro Jahr
- P_x Schadenswahrscheinlichkeit für das Bauwerk (eine Funktion verschiedener Schutzmaßnahmen)
- L_x Folgeverlust

Diese Grundgleichung für die Bewertung des Schadensrisikos beruht auf der Wahrscheinlichkeit verschiedener Schadensarten und von Folgeverlusten (siehe Anhang B).

Falls das Schadensrisiko als zu hoch angesehen wird, müssen gegebenenfalls Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um das Risiko unter den Wert für das akzeptierbare Schadensrisiko R_T zu senken.

$$R_x \leq R_T \quad (8)$$

ANMERKUNG Das akzeptierbare Schadensrisiko R_T darf von Behörden festgelegt werden.

7.2.2 Bewertung von Risikokomponenten durch Blitzeinschläge in die WEA (S1)

Für die Abschätzung der Risikokomponenten in Bezug auf Blitzeinschläge in die WEA gelten die folgenden Beziehungen:

- Komponente bezogen auf die Verletzung von Lebewesen (D1)

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (9)$$

- Komponente bezogen auf physikalische Schäden (D2)

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (10)$$

- Komponente bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (D3)

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C \quad (11)$$

Die Parameter für die Bewertung dieser Risikokomponenten sind in Tabelle 4 angegeben.

7.2.3 Bewertung der Risikokomponente durch Blitzeinschläge neben der WEA (S2)

Für die Abschätzung der Risikokomponente in Bezug auf Blitzeinschläge neben der WEA gilt die folgende Beziehung:

- Komponente bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (D3)

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (12)$$

Die Parameter für die Bewertung dieser Risikokomponente sind in Tabelle 4 angegeben.

7.2.4 Bewertung von Risikokomponenten durch Blitzeinschläge in eine mit der WEA verbundene Versorgungsleitung (S3)

Für die Abschätzung der Risikokomponenten in Bezug auf Blitzeinschläge in eine in die WEA eingeführte Versorgungsleitung gelten die folgenden Beziehungen:

- Komponente bezogen auf die Verletzung von Lebewesen (D1)

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (13)$$

- Komponente bezogen auf physikalische Schäden (D2)

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (14)$$

- Komponente bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (D3)

$$R_W = (N_L + N_{Da}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (15)$$

Die Parameter für die Bewertung dieser Risikokomponenten sind in Tabelle 4 angegeben.

7.2.5 Bewertung der Risikokomponente durch Blitzeinschläge neben einer mit der WEA verbundenen Versorgungsleitung (S4)

Für die Abschätzung der Risikokomponente in Bezug auf Blitzeinschläge neben einer mit der WEA verbundenen Versorgungsleitung gilt die folgende Beziehung:

- Komponente bezogen auf den Ausfall innerer Systeme (D3)

$$R_Z = (N_I - N_L) \cdot P_Z \cdot L_Z \quad (16)$$

Falls $(N_I - N_L) < 0$ ist, wird für diese Bewertung angenommen, dass $(N_I - N_L) = 0$ ist.

Die Parameter für die Bewertung dieser Risikokomponenten sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 – Parameter für die Bewertung von Risikokomponenten für WEA (IEC 62305-2, Tabelle 8)

	Durchschnittliche jährliche Anzahl gefährlicher Ereignisse durch Blitzeinschläge
N_D [Jahr ⁻¹]	in die WEA
N_M [Jahr ⁻¹]	neben der WEA
N_L [Jahr ⁻¹]	in die in die WEA eingeführte Versorgungsleitung
N_I [Jahr ⁻¹]	neben einer in die WEA eingeführten Versorgungsleitung
$N_{D,b}$ [Jahr ⁻¹]	in ein Bauwerk am Ende „b“ einer Versorgungsleitung (siehe Bild 3)
	Wahrscheinlichkeit, dass ein Blitzeinschlag in die WEA Folgendes verursacht
P_A	elektrischer Schlag bei einem Lebewesen
P_B	physikalische Schäden
P_C	Ausfall innerer Systeme
	Wahrscheinlichkeit, dass ein Blitzeinschlag neben der WEA Folgendes verursacht
P_M	Ausfall innerer Systeme
	Wahrscheinlichkeit, dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung Folgendes verursacht
P_U	Verletzung von Lebewesen
P_V	physikalische Schäden
P_W	Ausfall innerer Systeme
	Wahrscheinlichkeit, dass ein Blitzeinschlag neben einer Versorgungsleitung Folgendes verursacht
P_Z	Ausfall innerer Systeme
	Verluste durch
$L_A = L_U = r_A \cdot L_t$	Verletzung von Lebewesen
$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_t$	physikalische Schäden
$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o$	Ausfall innerer Systeme
ANMERKUNG Die Verlustwerte L_t , L_p , L_o , die Faktoren r_p , r_a , r_u , r_f , die den Verlust verringern, und der Faktor h_z , der den Verlust erhöht, sind im Anhang B angegeben.	

8 Blitzschutz von Teilkomponenten

Wenn die Risikoanalyse nichts anderes ergibt, sollten alle Teilkomponenten gemäß LPL I geschützt werden.

Die Einhaltung der Lebensdauer bei einem bestimmten LPL kann eine standortspezifische Wartung und Inspektionen erfordern. Anforderungen an die Wartung und Inspektion von BSA einschließlich der Erdungsanlage sollten im Wartungshandbuch beschrieben werden. Wartungs- und Inspektionsverfahren sind im Abschnitt 12 beschrieben.

ANMERKUNG Eine genaue Risikobewertung kann ergeben, dass ein geringerer Schutzpegel als LPL I für bestimmte WEA oder Windparks wirtschaftlich optimal ist, genauso wie eine Differenzierung in der Hinsicht vorteilhaft sein kann, dass z. B. Rotorblätter einer WEA mit einem höheren LPL geschützt werden, während andere Teile, die mit geringen Kosten reparabel oder ersetzbar sind, mit einem geringeren LPL geschützt werden können.

8.1 Rotorblätter

Rotorblätter von WEA sind die am wenigsten geschützten Teile der Turbine und der vollen Auswirkung elektrischer Felder im Zusammenhang mit Blitzeinschlägen, den Blitzströmen und dem mit Blitzströmen verbundenen magnetischen Feld ausgesetzt. Im Anhang A ist eine formale Erläuterung des Einschlagvorganges enthalten und die folgende Strom-/Ladungsleitung beschrieben.

Rotorblätter von WEA befinden sich nach IEC 62305-1 in Zone 0_A und müssen entsprechend geschützt werden.

Eine allgemeine Beschreibung der verschiedenen Aspekte in Bezug auf den Blitzschutz von Rotorblättern ist im Anhang C enthalten.

8.1.1 Anforderungen

Der Blitzschutz muss ausreichen, um das Rotorblatt in die Lage zu versetzen, Blitzeinschläge mit LPL I ohne bauliche Schäden standzuhalten, die die Funktionsweise des Rotorblattes beeinträchtigen (es sei denn, die Risikoanalyse ergibt, dass LPL II oder LPL III ausreichen).

Blitzschäden müssen auf ein Maß begrenzt werden, das bis zur nächsten geplanten Wartung und Inspektion vertretbar ist.

8.1.2 Nachweisprüfungen

Die Fähigkeit der Fangeinrichtung und des Ableitungssystems, Blitze aufzufangen und Blitzströme zu leiten, muss nach einem der folgenden Verfahren nachgewiesen werden:

- 1) Hochspannungs- und Hochstromprüfungen nach 8.1.4;
- 2) Nachweis der Ähnlichkeit des Rotorblatttyps (Bauart) mit einem bereits überprüften Rotorblatttyp oder mit einem Rotorblatttyp, für den ein wirksamer Blitzschutz dokumentiert wurde;
- 3) Anwendung von Auswertungshilfsmitteln, deren Eignung durch Vergleich mit Prüfergebnissen oder mit Ausführungen des Rotorblattschutzes, für die bereits erfolgreiche Einsatzerfahrungen vorliegen, nachgewiesen wurde.

Für den Nachweis durch Ähnlichkeit müssen die Rotorblätter die gleiche Werkstoffzusammensetzung, das gleiche System für den Blitzschutz und die gleichen Maße der konstruktiven Merkmale aufweisen. Wesentliche Änderungen, die die Anfälligkeit gegenüber Blitzen beeinflussen, sollten ohne Nachweis nicht zulässig sein. Bewertungen, die identisch zu solchen sind, die an einer bereits überprüften Bauart von Rotorblättern durchgeführt wurden, müssen jedoch nicht wiederholt werden.

Rotorblatthersteller müssen eine Dokumentation erstellen, die beschreibt, welches der angegebenen Verfahren benutzt wurde und zu welchen Ergebnissen die Nachweisprüfung gekommen ist.

8.1.3 Betrachtungen zur Planung des Schutzes

In den folgenden Abschnitten werden Aspekte beschrieben, die für die Planung und den Einbau von BSA in Verbindung mit dem Rotorblatt von Bedeutung sind.

8.1.3.1 Fangeinrichtung

Die Blitzfangeinrichtungen werden auf den Oberflächen des Rotorblattes angebracht, wo Blitzkanalverbindungen entstehen und ohne Fangeinrichtung Blitzeinschläge oder Durchschläge verursachen können. Die Fangeinrichtungen können Bestandteil des Rotorblattaufbaus sein, Anbauteile am Rotorblatt oder eine Kombination dieser Möglichkeiten.

Die in IEC 62305-3 beschriebenen Hilfsmittel zur Anordnung von Fangeinrichtungen (Blitzkugelverfahren, Schutzwinkelverfahren usw.) gelten für Rotorblätter von WEA nicht. Aus diesem Grund muss die Eignung der Ausführung von Fangeinrichtungen nach 8.1.2 überprüft werden.

Der Hersteller muss sicherstellen, dass die Fangeinrichtung gut an ihren Halterungen befestigt ist, und er muss die Fangeinrichtung so planen, dass sie dem erwarteten Verschleiß durch Wind, Feuchtigkeit und Teilchen usw. standhalten kann. Als Teil der Überprüfung müssen die Blitzschutzkomponenten in der endgültigen Ausführung des Rotorblattes, bei vorausgehenden Ermüdungsprüfungen und bei anderen mechanischen Prüfungen vorhanden sein.

Alle Innenteile der Fangeinrichtung, die Halterungen und die Verbindungen zur Ableitung müssen so ausgeführt sein, dass das Risiko innerer Entladungen (d. h. Streamerentladungen und Blitzkanäle), die von diesen Teilen ausgehen können, so gering wie möglich ist.

Der Hersteller muss die Fangeinrichtung so planen, dass das Bedienpersonal Teile davon, die durch Blitzeinschläge oder andere umweltbedingte Wirkungen zerstört oder beschädigt werden können, reparieren oder ersetzen kann. Durch Abtragung an den Fußpunkten des Lichtbogens verschleiben die Fangeinrichtungen im Verlauf der Zeit. Die Abtragung ist abhängig von der Ladung, die am Fußpunkt (an den Fußpunkten) des Lichtbogens eintritt, sowie vom Werkstoff der Oberfläche und von der Geometrie der Fangeinrichtung. Bei Rotorblättern, die einer großen Anzahl von Blitzeinschlägen ausgesetzt sind, kann möglicherweise ein Austausch der Fangeinrichtungen erforderlich sein. Die Lebensdauer der Fangeinrichtung sollte durch eine geeignete Werkstoffauswahl und Ausführung so lang wie möglich sein. Der Hersteller muss Richtlinien dafür angeben, wie die Wartung und Inspektion von Fangeinrichtungen zu erfolgen hat.

Falls Fangeinrichtungen beispielsweise mit einem Überzug beschichtet sind, müssen dessen Funktion und die Reparaturmöglichkeit während der Lebensdauer des Rotorblattes sichergestellt sein. Empfohlene Prüfungen zur Bestimmung der Wirksamkeit von Fangeinrichtungen sind im Anhang D beschrieben.

Der Hersteller muss ein Verfahren für eine regelmäßige Inspektion der Fangeinrichtungen festlegen, sodass der geschätzte Auslegungswert der Lebensdauer und die Wartungs-/Austauschintervalle festgesetzt und nachgeprüft werden können.

Die Nachweisprüfung für den Wirkungsgrad der Fangeinrichtung muss nach der Beschreibung in 8.1.2 durchgeführt werden.

8.1.3.2 Ableitungssystem und deren Verbindungsbauteile

Das Ableitungssystem und deren Verbindungsbauteile bilden das System zur Leitung des Blitzstromes von der Fangeinrichtung zur Flanschverbindung des Rotorblattes.

Die Verbindungen zum Ableitungssystem müssen fest und dauerhaft sein und sicherstellen, dass das Gesamtsystem der kombinierten Einwirkung von elektrischen, thermischen und elektrodynamischen Einflüssen des Blitzstromes standhalten kann. Es muss nachgewiesen werden, dass BSA in der Lage sind, der mechanischen Beanspruchung in den Rotorblättern standzuhalten, vorzugsweise durch Montage der Anlage in einem Rotorblatt, welches den Prüfungen nach IEC TS 61400-23 unterzogen wird.

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

Der Querschnitt der Ableitung und der von Natur aus leitenden Teile des Rotorblattes, die als Ableitung benutzt werden, muss ausreichen, um den Blitzstrom zu führen, der dem ausgewählten LPL entspricht. Metallleiter müssen im Allgemeinen nach IEC 62305-3 ausgewählt werden.

Die Verbindungsbauteile müssen ohne durchgeführte Vorbehandlung/Alterung nach IEC 50164-1 geprüft werden. Die Prüfstrompegel sollten anhand der ersten Kurzentladung des ausgewählten LPL bestimmt werden. Wenn nichtstarre Verbindungen wie Drehglieder, Lager oder Funkenstrecken verwendet werden, sollte die Prüfung auch mit dem Langentladungsstrom durchgeführt werden. Falls mehrere Pfade für den Blitzstrom vorhanden sind, dürfen die Amplituden des Prüfstromes in jedem Pfad gemäß der Stromverteilung zwischen den Pfaden angepasst werden.

Alle Innenteile des Ableitungssystems und der Verbindungsbauteile müssen so ausgeführt werden, dass das Risiko innerer Entladungen, die von diesen Teilen ausgehen können, so gering wie möglich gehalten wird. Damit wird die Entwicklung elektrischer Entladungen erschwert, die von anderen Konstruktionsteilen als der äußeren Fangeinrichtung ausgehen, womit das Risiko begrenzt wird, dass solche inneren Entladungen die Außenhaut des Rotorblattes durchschlagen.

Außen angebrachte Ableitungen sind als Fangeinrichtungen definiert, sodass die Anforderungen von 8.1.3.1 gelten.

Der Hersteller muss ein Verfahren für eine regelmäßige Inspektion aller Teile des Ableitungssystems und von dessen Verbindungsbauteilen, die durch die Betriebsumgebung abgebaut werden können, festlegen, sodass die Bedingungen und der geschätzte Auslegungswert der Lebensdauer und die Wartungsintervalle dieser Teile nachgeprüft werden können.

Empfohlene Prüfungen zur Bestimmung der Tauglichkeit von Ableitungen und Verbindungsbauteilen sind in Anhang D beschrieben.

Nachweisprüfungen für das Ableitungssystem und dessen Verbindungsbauteile müssen nach der Beschreibung in 8.1.2 durchgeführt werden.

8.1.3.3 Zusätzliche leitende Bauteile

Falls zusätzliche leitende Bauteile (leitende Konstruktionsteile, CFK, Gewichte, Kabel von Blattspitzenbremsen, elektrische Kabel für Messfühler, Warnleuchten usw.) im Rotorblatt vorhanden sind, müssen diese Teile generell mit der BSA verbunden werden und so ausgeführt sein, dass sie ihren Anteil am Blitzstrom führen können und dass Überschläge zwischen leitenden Teilen vermieden werden.

Alternativ dazu müssen durch eine dem LPL angemessene Prüfung und/oder eine Analyse nachgewiesen werden, ob zusätzliche leitende Bauteile, CFK-Konstruktionen usw. miteinander und mit der BSA verbunden werden müssen oder nicht.

Potentialausgleichsverfahren für diese zusätzlichen leitenden Bauteile müssen durch Hochstromprüfung nach der Beschreibung in 8.1.4.2 überprüft werden.

Falls Leiter parallele Strompfade innerhalb des Rotorblattes bilden, müssen diese nach IEC 62305-1 miteinander verbunden werden und es müssen Wirkungen elektrodynamischer Kräfte berücksichtigt werden.

8.1.3.4 Auswirkung der Beanspruchung von Konstruktionen aus Verbundwerkstoffen durch das elektrische Feld

Aufgrund der Höhe und der exponierten Lage der Rotorblätter der WEA ist die gesamte Rotorblattkonstruktion während ihrer Betriebslebensdauer häufig starken elektrischen Feldern ausgesetzt. Durch Gewitterwolken werden starke statische und transiente elektrische Felder erzeugt und wirken elektrisch auf die Rotorblattkonstruktion ein. Sich nähernde Blitzkanäle setzen die Rotorblattkonstruktion noch stärkeren elektrischen Feldern aus. In beiden Fällen können die elektrischen Felder im Verlauf der Zeit die Isolationseigenschaften von Verbundwerkstoffen verschlechtern. Deshalb sollte die BSA unter Berücksichtigung von Konstruktionsprinzipien für eine Hochspannungsisolation ausgelegt werden.

8.1.4 Prüfverfahren

Die folgenden Prüfverfahren gelten für die gesamte Rotorblattkonstruktion oder für Teilstücke wie die Rotorblattspitzen oder laminierte Probestücke.

8.1.4.1 Hochspannungsprüfungen

Die Auffangwirksamkeit der Fangeinrichtungen am Rotorblatt kann mit der Erstblitz-Einschlagprüfung nach D.1.1 bewertet werden.

Weiterhin können aus der in D.1.1 beschriebenen Erstblitz-Einschlagprüfung Erkenntnisse für die Entwicklung spezieller Konstruktionseinzelheiten im Zusammenhang mit Blattspitzen- und Seitenaufnehmern und dergleichen gewonnen werden.

Die Verbesserung der Fähigkeit der Rotorblattlamine, innere Entladungen zu verhindern und zu vermeiden, dass diese die Haut des Rotorblattes durchschlagen, kann erreicht werden, indem die elektrische Durchschlagfeldstärke des Werkstoffes erhöht wird. Die Durchschlagfeldstärke von isolierenden Schichten und Beschichtungen kann nach IEC 60060-1, IEC 60243-1 (Wechselspannung), IEC 60243-3 (Stoßspannung) und IEC 60464-2 (Beschichtung) bewertet werden.

Wenn auf Isolierflächen elektrische Aktivitäten auftreten (Streamerentladungen, Oberflächenüberschläge usw.), kann die Oberfläche abgebaut werden, was sich in der Bildung von Kriechwegen und Aushöhlungen zeigt. Die Auswirkung davon ist, dass sich in Verbindung mit Feuchtigkeit die Eigenschaften der isolierenden Oberfläche dahingehend verändern können, dass sie leitfähiger wird und folglich das Risiko eines direkten Blitzeinschlages ansteigt. Die Beständigkeit gegen Kriechwegbildung verschiedener Rotorblattwerkstoffe und Beschichtungsstoffe kann nach IEC 60587 bewertet und verglichen werden.

8.1.4.2 Hochstromprüfungen

Die Fangeinrichtungen werden stark durch die Ladung des Blitzes beeinflusst (d. h. das Zeitintegral des Blitzstromes), eine Erscheinung, die mit der Hochstrom-Zerstörungsprüfung nach D.2 bewertet werden kann.

Anschlussbauteile und Teile der Ableitung können mit der Hochstrom-Zerstörungsprüfung nach D.2 oder nach EN 50164-1 ohne Vorbehandlung/Alterung geprüft werden.

Die Kurvenformen und Pegel für die Stromprüfung sollten die erste Kurzentladung und gegebenenfalls auch die Langentladung (Langzeitstrom) umfassen, die für den ausgewählten LPL festgelegt ist.

8.2 Gondel und andere Konstruktionsteile

8.2.1 Allgemeines

Der Blitzschutz der Gondel und anderer Konstruktionsteile der WEA sollte mit den großen Metallkonstruktionen selbst erfolgen soweit diese als Blitzfangeinrichtung, Potentialausgleichseinrichtung, Schirmung und Ableitung des Blitzstromes zur Erdungsanlage geeignet sind. Die Ausführung und Auslegung weiterer Blitzschutzkomponenten wie Fangeinrichtungen für den Schutz meteorologischer Messeinrichtungen und der Befeuerung auf der Gondel, von Ableitungen und Potentialausgleichsverbindungen muss nach IEC 62305-3 erfolgen. Die WEA sollte in LPZ unterteilt werden (siehe Anhang F).

8.2.2 Nabe

Die Nabe großer WAE besteht aus einer Hohl-guss-Eisenkugel mit einem Durchmesser von 2 m bis 3 m. Damit sichert allein die Werkstoffdicke den Schutz der Nabenkonstruktion gegen Blitze. In den meisten Fällen befinden sich in der Nabe elektrische und mechanische Betriebsführungssysteme und Stellglieder, wobei die Stromkreise nach außen zu den Rotorblättern und zur Gondel geführt werden. Die Nabe sollte in einen Faradayschen Käfig umgewandelt werden, indem in die Öffnungen der Nabe zu den Rotorblättern, zur Vorderseite und zur Gondel hin magnetische Schirmungen angeordnet werden (d. h. die Nabe sollte als eine LPZ angesehen werden). In vielen Fällen werden diese Öffnungen durch Rotorblatt-Flanschsteller und den Hauptwellenflansch verschlossen, die als sehr wirksame magnetische Schirmung angesehen werden

können. Wenn die Öffnungen wie beschrieben mit magnetischen Schirmungen verschlossen werden, erfordert der Innenraum der Nabe keinen besonderen Blitzschutz. Der Blitzschutz der Nabe beschränkt sich dann auf eine Potentialausgleichsverbinding und auf einen transienten Schutz der Anlagen außerhalb der Nabe wie die Stellglieder des Rotorblattes und auf die elektrischen Systeme und das Betriebsführungssystem in der Nabe, die mit Stromkreisen verbunden sind, die aus der Nabe herausgeführt werden.

8.2.3 Spinner

Gewöhnlich besitzt die Nabe eine Glasfaserabdeckung, die als Spinner bezeichnet wird und an der Nabe befestigt ist und mit ihr rotiert. Da das Blitzkugelmodell immer angibt, dass ein Blitzeinschlag am vorderen Ende des Spinners möglich ist, muss ein Blitzschutz in Betracht gezogen werden. In einigen Bauarten von WEA befinden sich auch elektrische und mechanische Betriebsführungssysteme und Stellglieder außerhalb der Nabe und werden vom Spinner abgedeckt. Diese Systeme müssen mit Fangeinrichtungen vor einem Blitzeinschlag geschützt werden. Falls sich unter dem Spinner keine solchen Systeme befinden, kann es sinnvoll sein, das Risiko eines Blitzdurchschlages durch den Spinner zu tolerieren und am Spinner keinen Blitzschutz anzubringen. In den meisten Fällen kann ein einfacher und tauglicher Blitzschutz des Spinners wahrscheinlich durch die Nutzung der metallischen Stützkonstruktion des Spinners als Fangeinrichtung und Verbindung mit der Nabe erzielt werden.

8.2.4 Gondel

Die Gondelkonstruktion sollte Teil des Blitzschutzes sein, sodass sichergestellt ist, dass in die Gondel einschlagende Blitze entweder natürliche Metallteile treffen, die der Beanspruchung standhalten können, oder eine Blitzfangeinrichtung, die für diesen Zweck konstruiert worden ist. Gondeln mit GFK-Beschichtung oder dergleichen sollten mit einer Blitzfangeinrichtung und Ableitungen ausgerüstet werden, die einen Käfig um die Gondel bilden. Die Blitzfangeinrichtung einschließlich der freiliegenden Leiter in diesem Käfig sollten in der Lage sein, Blitzen entsprechend dem gewählten Gefährdungspegel standzuhalten. Andere Leiter im Faradayschen Käfig sollten so ausgelegt sein, dass sie dem Anteil des Blitzstromes standhalten, dem sie ausgesetzt sein können. Blitzfangeinrichtungen zum Schutz von Messgeräten usw. an der Außenseite der Nabe sollten nach den allgemeinen Vorschriften in IEC 62305-3 ausgeführt und Ableitungen an den beschriebenen Käfig angeschlossen werden.

Als Schirmung gegen äußere elektrische und magnetische Felder und gegen magnetische Felder durch Ströme, die durch den Käfig fließen, kann auf Gondeln mit GFK-Beschichtung ein Metallgeflecht angebracht werden. Alternativ dazu können alle Stromkreise innerhalb der Gondel in metallischen Installationsrohren oder Kabelkanälen usw. verlegt werden. Es muss ein Potentialausgleichssystem geschaffen werden, in das die wichtigsten metallischen Konstruktionsteile in und an der Gondel einbezogen werden, wie es von elektrotechnischen Installationsvorschriften gefordert wird, und in einer Weise, dass sich eine wirksame Potentialausgleichsebene bildet, an die alle Erdungs- und Potentialausgleichsverbindungen angeschlossen werden sollten.

Der Blitzstrom von Blitzeinschlägen in die Rotorblätter sollten vorzugsweise direkt in den beschriebenen Käfig geleitet werden, sodass ein Stromfluss des Blitzstromes durch die Rotorblattlager und die Lager des Antriebsstranges vollkommen vermieden wird (der Schutz von Rotorblättern und Lagern wird in 8.1 und 8.3 erläutert). Zur Ableitung der Blitzströme von den Lagern werden gewöhnlich verschiedene Arten von Bürstensystemen benutzt. Die Wirksamkeit von einzelnen Bürsten ist jedoch möglicherweise gering, da es sehr schwierig ist, das Leitersystem zwischen Bürste und Erde so niederohmig auszuführen, dass der Stromfluss durch die niederohmige Hauptwelle und das niederohmige Lagersystem zur Grundplatte der Gondel bedeutend verringert wird.

ANMERKUNG Eine Gondelbeschichtung mit einer derartigen magnetischen Schirmung bietet keinen Schutz gegen die Auswirkungen von magnetischen Feldern von Blitzströmen, die innerhalb der Gondel wie z. B. in der Hauptwelle fließen.

8.2.5 Turm

Ein röhrenförmiger Stahlturm, wie er bei großen WEA vorwiegend eingesetzt wird, erfüllt gewöhnlich die Maßanforderungen, die für Ableitungen in IEC 62305-3 angegeben sind, und kann als fast perfekter Faradayscher Käfig zur elektromagnetischen Schirmung angesehen werden, da er sowohl an der Grenzfläche zur Gondel als auch an der Grenzfläche zum Boden elektromagnetisch nahezu geschlossen ist. Aus diesem

Grund ist es oft sinnvoll, den Innenraum des Turmes als LPZ 1 oder LPZ 2 einzustufen. Um den Turm elektromagnetisch so geschlossen wie möglich zu halten, sollte entlang der Flansche zwischen den Turmabschnitten ein direkter elektrischer Kontakt bestehen. Der Turm und alle inneren metallischen Hauptteile sollten in den Schutzerdungsleiter (PE) und die Potentialausgleichssysteme einbezogen werden, um die besten Schutzergebnisse durch den Faradayschen Käfig zu erzielen. Die Potentialausgleichsverbindung von Metallkonstruktionen und -systemen innerhalb des Turmes wie Leitern, Seile und Schienen wird 9.3.4 erläutert.

Die Grenzfläche zur Gondel hin ist gewöhnlich mit Metallplattformen und Luken verschlossen, die auch als elektromagnetische Schirmung zum Abschließen des Turmes dienen können (der Blitzschutz des Gierlagers wird in 8.3.2 erläutert).

Die Grenzfläche zwischen Turm und Erdungsanlage wird im Abschnitt 9 beschrieben. Ist der Turm wie beschrieben als Faradayscher Käfig konstruiert, erfordert der Innenraum des Turmes keinen gesonderten Blitzschutz. Die Aufgaben des Blitzschutzes des Turmes ist damit auf den Potentialausgleich und den transienten Schutz von elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen beschränkt, die sich in andere Blitzschutzzonen wie in die Gondel und auf die Außenseite des Turmes erstrecken.

Gittertürme können naturgemäß nicht als sehr wirksamer Faradayscher Käfig betrachtet werden, obwohl innerhalb des Turmes das magnetische Feld etwas abgeschwächt und der Blitzstrom verringert werden. Es ist sinnvoll, den Innenraum eines Gitterturmes als LPZ 0_B einzustufen. Die Blitzableitung sollte über die Konstruktionselemente des Gitterturmes erfolgen, die daher die in IEC 62305-3 angegebenen Maßanforderungen für Ableitungen erfüllen müssen, wobei die Stromteilung zwischen parallelen Pfaden berücksichtigt werden muss. Die Kabelschirmungen in Gittertürmen müssen in einem bestimmten Abstand mit dem Turm verbunden werden, damit ein Durchschlag der Kabelisolation vermieden wird, was durch Berechnung nachzuweisen ist (siehe IEC 62305-2, Anhang D).

Bei Betontürmen mit Bewehrungsstahl kann die Bewehrung für die Blitzableitung benutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass zwei bis vier parallele senkrechte Verbindungen mit einem ausreichenden Querschnitt zur Verfügung stehen, die oben und unten sowie im Abstand von jeweils 20 m waagrecht miteinander verbunden sind. So verbunden bietet der Bewehrungsstahl eine durchaus wirksame Schwächung des magnetischen Feldes und eine Verringerung des Blitzstromes innerhalb des Turmes.

8.2.6 Prüfverfahren

Im Anhang D sind vorläufige Prüfverfahren enthalten.

8.3 Mechanischer Antriebsstrang und Giersystem

8.3.1 Allgemeines

Die WEA besitzt im Allgemeinen eine Anzahl von Lagern für die Rotorblattverstellung, die Drehung der Hauptwelle, das Getriebe, den Generator und das Giersystem.

Zur Steuerung und Bedienung der Hauptbauteile werden hydraulische und elektrische Stellsysteme benutzt.

Lager und Stellsysteme besitzen bewegliche Teile, die direkt oder indirekt unterschiedliche Teile der WEA überbrücken und in denen ein Blitzstrom fließen kann.

Alle Lager und Stellsysteme, die sich möglicherweise im Blitzstrompfad befinden, müssen gegebenenfalls geschützt werden, um den Strompegel, der durch die Bauteile fließt, auf einen vertretbaren Pegel zu begrenzen.

8.3.2 Lager

Lager sind schwer zu überwachen und es ist nicht hinnehmbar, dass die Lager nach einem Blitzeinschlag in eine WEA überprüft werden müssen. Anlagen zum Schutz von Lagern müssen deshalb gut erprobt und dokumentiert sein.

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

Der Schutz kann Teil der Lagerkonstruktion selbst sein oder er kann aus einem äußeren System bestehen, der zur Umleitung des Stromes über dem Lager angebracht wird.

Falls Lager ohne Schutz betrieben werden, muss nachgewiesen werden, dass das Lager selbst, nachdem es der erwarteten Anzahl von Blitzstromeindringungen ausgesetzt worden ist, während der gesamten Bemessungslebensdauer betrieben werden kann. Wenn das Lager nicht über die gesamte Bemessungslebensdauer betrieben werden kann, muss ein Schutz angebracht werden (siehe 8.3.4).

8.3.3 Hydraulische Systeme

Wenn sich im Blitzstrompfad hydraulische Systeme befinden, muss sichergestellt sein, dass das Eindringen von Blitzstrom das System nicht beeinträchtigt. Bei hydraulischen Systemen müssen die Gefahren eines Flüssigkeitsaustrittes aufgrund der Beschädigung von Armaturen und einer Entzündung des Hydrauliköls in Betracht gezogen werden.

Schutzmaßnahmen wie Schleifkontakte oder Potentialausgleichsbänder können als Stromüberbrückung für den Stellzylinder benutzt werden.

Um zu vermeiden, dass Strom in die Schläuche eindringt, müssen dem Blitzstrom ausgesetzte Hydraulikschläuche geschützt werden. Falls Hydraulikschläuche eine mechanische Panzerung besitzen, muss diese an beiden Schlauchenden mit der Stahlkonstruktion der Ausrüstung verbunden werden. Außerdem muss sichergestellt werden, dass die Panzerung einen ausreichenden Querschnitt zur Leitung des Anteils des Blitzstromes besitzt, dem sie ausgesetzt ist.

Für Wasserkühlsysteme gelten ähnliche Betrachtungen.

8.3.4 Funkenstrecken und Schleifkontakte

Zur Überbrückung von Lagern und Stellsystemen müssen Funkenstrecken oder Schleifkontakte benutzt werden. Solche Überbrückungssysteme einschließlich ihrer Verbindungsleitungen müssen eine geringere Impedanz als der direkte natürliche Strompfad durch die Bauteile aufweisen, um wirksam zu sein.

Funkenstrecken und Schleifkontakte müssen den Blitzstrom leiten können, denen sie an ihrem Einsatzort in der WEA ausgesetzt sein können.

Sowohl Funkenstrecken als auch Schleifkontakte müssen so ausgelegt sein, dass ihre geforderte Leistungsfähigkeit unabhängig von den Umgebungseinflüssen wie Regen, Eis, Verschmutzung mit Salz, Staub usw. erhalten bleibt.

Falls Funkenstrecken oder Schleifkontakte verwendet werden, müssen diese als Verschleißteile angesehen werden und die Betriebslebensdauer dieser Einrichtungen muss berechnet und dokumentiert werden. Funkenstrecken und Schleifkontakte müssen in Übereinstimmung mit dem Betriebs- und Wartungshandbuch regelmäßig überprüft werden.

8.3.5 Prüfung

Sämtliche Systeme zum Schutz von Lagern und Stellsystemen müssen ihre dokumentierte Funktion ausführen. Es ist empfehlenswert, Prüfungen mit Stoßströmen durchzuführen, die den natürlichen Blitzstrom nachbilden.

Die Durchführung der Stoßstromprüfung wird an Prüflingen in Originalgröße empfohlen, wobei die wichtigen Teile des Systems durch ein Modell dargestellt werden.

Es ist nachzuweisen, dass das Schutzsystem der Schadenswirkung der ersten Blitzentladung zusammen mit dem Langentladungsstrom standhalten kann.

Wenn Schleifkontakte als Teil des Systems verwendet werden, müssen zum Nachweis der Stabilität des Systems mechanische Prüfungen mit dem besonderen Schwerpunkt des Kontaktverschleißes mit und ohne

Abtragungswirkungen durch Blitzstrom durchgeführt werden. Der Verschleiß muss so gering sein, dass zwischen den geplanten Wartungsintervallen ein uneingeschränkter Betrieb möglich ist.

Prüfungen können an verkleinerten Modellen durchgeführt werden, die Skalierungsfaktoren und -wirkungen sind aber mit Berechnungen nachzuweisen.

D.2.3 enthält informative Prüfverfahren.

8.4 Elektrische Niederspannungssysteme und elektronische Systeme und Anlagen

8.4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt behandelt den Schutz der elektrischen Systeme und der Betriebsführungssysteme einer WEA gegen Auswirkungen von:

- Blitzeinschlägen in die WEA;
- Blitzkanalströmen, die sich von der WEA aus entwickeln;
- indirekten Blitzeinschlägen (d. h. Auswirkungen von LEMP durch Blitze, die die WEA nicht direkt beeinflussen).

ANMERKUNG 1 Durch Schaltvorgänge in elektrischen Netzen verursachte transiente Überspannungen und Stoßwellen (elektromagnetische Schaltimpulse, SEMP) müssen auch betrachtet werden. Dieser Aspekt gehört jedoch nicht zum Anwendungsbereich der vorliegenden Norm. IEC 62305-2, Anhang F, enthält allgemeine Informationen über Schaltüberspannungen, auf die der Leser verwiesen wird. 8.4.6.8 und G.7 der vorliegenden Norm geben Informationen über die Auswahl von SPDs in Bezug auf Überspannungen, die innerhalb von WEA erzeugt werden.

Alle Blitzarten erzeugen elektromagnetische Blitzimpulse (LEMP)

ANMERKUNG 2 Die allgemeinen Anforderungen an die elektrische Ausrüstung von Maschinen, die in IEC 60204-1 beschrieben sind, sollten berücksichtigt werden.

8.4.2 LEMP-Schutzmaßnahmen (LPMS)

Elektrische Systeme und Betriebsführungssysteme unterliegen einer Zerstörung durch LEMP. Aus diesem Grund müssen LEMP-Schutzmaßnahmen (LPMS) vorgesehen werden, um einen Ausfall dieser Systeme zu verhindern. Der wirksame Schutz der elektrischen Systeme und der Betriebsführungssysteme einer WEA gegen LEMP erfordert eine systematische Herangehensweise an die LPZ-Konzeption nach IEC 62305-4. LPMS ist Bestandteil der LPZ-Konzeption für die vollständige WEA, das in 8.4.3 beschrieben wird. Beispiele für die Anwendung der LPZ-Konzeption in einer WEA sind im Anhang F angegeben.

Der WEA-Hersteller muss LPMS nach IEC 62305-4 für das gesamte elektrische System zur Verfügung stellen.

ANMERKUNG Es kann davon ausgegangen werden, dass wirksame LEMP-Schutzmaßnahmen auch einen wirksamen Schutz gegen die Auswirkungen indirekter Blitzeinschläge bieten.

Grundlegende LPMS nach IEC 62305-4 umfassen:

- Potentialausgleich – siehe 8.4.4;
- magnetische und elektrische Schirmung von Kabeln und Leitwegen (Systeminstallation) – siehe 8.4.5;
- koordinierten Überspannungsschutz – siehe 8.4.6;
- Erdung – siehe Abschnitt 9.

Weitere Verfahren umfassen:

- Isolierung, Stromkreislaufbau, symmetrische Stromkreise, Reihenimpedanzen usw.

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

Für LPMS müssen folgende Grundangaben aufgezeichnet werden (siehe auch Abschnitt 11):

- Festlegung des LPL nach IEC 62305-1;
- Zeichnungen der WEA mit Festlegung der LPZ und von deren Grenzen;
- Stromlaufpläne mit Darstellung von SPDs, Kabelschirmungen und Anschlusspunkten der Kabelschirmung.

Die Bilder F.5 und F.6 zeigen grundlegende Beispiele für eine derartige Dokumentation.

8.4.3 Blitzschutzzonen (LPZ)

Eine WEA kann in verschiedene physikalische Bereiche unterteilt werden, die grob das Ausmaß der Einwirkung eines Blitzes auf die Bauteile in dieser Zone festlegen. Diese Unterteilung der WEA in LPZs ist ein Hilfsmittel, um einen systematischen und ausreichenden Schutz sämtlicher Bauteile der WEA sicherzustellen. Die LPZs werden in Abhängigkeit davon festgelegt, ob ein direkter Blitzeinschlag möglich ist, sowie nach der Höhe des Blitzstromes und den zugehörigen magnetischen und elektrischen Feldern, die in dieser Zone erwartet werden (siehe Anhang F, Tabelle F.1). Anschließend werden Blitzschutzverfahren angewendet, die sicherstellen, dass die Bauteile wie z. B. maschinelle Einrichtungen, elektrische Systeme oder Betriebsführungssysteme den magnetischen und elektrischen Feldern und dem Blitzstrom standhalten können, die in der Zone auftreten, in der sich die Bauteile befinden. Beispielsweise ist ein Schutz gegen Überspannungen nur für solche Kabel notwendig, die von einer Zone in eine andere Zone mit empfindlicheren Bauteilen führen (d. h. von einer niedrigeren LPZ-Ziffer zu einer höheren LPZ-Ziffer), während die inneren Verbindungen innerhalb der Zone ungeschützt bleiben können. Diese Herangehensweise wird in IEC 62305-4, Abschnitt 4 „Planung und Installation eines LEMP-Schutzsystems (LPMS)“ genauer beschrieben und im Anhang F erläutert.

Weitere Hinweise zur Einhaltung dieser Anforderungen sind im Anhang F gegeben.

8.4.4 Potentialausgleichsverbindungen innerhalb der WEA

Innerhalb der WEA muss eine Potentialausgleichsverbindung nach IEC 62305-4 verwendet werden, um sicherzustellen, dass zwischen leitenden Teilen der WEA keine möglicherweise gefährliche Funkenbildung stattfindet. Diese Potentialausgleichsverbindungen bieten Schutz gegen Berührungs- und Schrittspannungen während eines Blitzeinschlages. Potentialausgleichsverbindungen spielen eine bedeutende Rolle bei der Verringerung der Möglichkeit einer Beschädigung der elektrischen Systeme und der Betriebsführungssysteme. Niederohmige Potentialausgleichsverbindungen verhindern gefährliche Potentialunterschiede zwischen Betriebsmitteln innerhalb von WEA.

Für eine hohe Wirksamkeit müssen die Potentialausgleichsverbindungen einen größtmöglichen Nutzen aus den großen Metallkonstruktionen der WEA ziehen (d. h. in erster Linie Turm, Grundplatte der Gondel, Gondelrahmen und Nabe). Solche Potentialausgleichsleiter können außerdem die Pegel des durch den Blitz verursachten magnetischen Feldes verringern. Wenn Potentialausgleichsverbindungen beispielsweise an mehreren Stellen zwischen metallischen Plattformen und der Turmwand um die Grenzfläche zwischen Plattform und Turm herum verteilt angebracht werden, wird das eine wirksame elektromagnetische Schirmung des Innenraumes des Turmes bieten.

Viele Schäden an Betriebsführungssystemen von WEA können durch einen wirksamen Potentialausgleich und eine wirksame Schirmung verhindert werden. Weitere Betrachtungen zum Potentialausgleich, der in einer WEA erforderlich ist, sind im Anhang H enthalten.

8.4.5 Schirmung und Leitungsführung

Schirmung ist eine Maßnahme zur Schwächung elektromagnetischer Felder. Diese Schwächung kann die in Stromkreisen induzierten Spannungen wesentlich verringern.

Das innerhalb einer LPZ durch Blitzeinschläge in die Konstruktion oder daneben verursachte magnetische Feld kann nur durch räumliche Schirmung der LPZ verringert werden. Stoßwellen, die in einem Betriebsführungssystem über die Anschlusskabel induziert werden, können entweder durch räumliche Schirmung oder durch Leitungsführung und Schirmung (z. B. geschirmte Kabel, die an beiden Enden elektrisch leitend verbunden sind) oder eine Kombination beider Verfahren verringert werden.

Die magnetische Schirmung und Leitungsführung sollte nach IEC 62305-4, Abschnitt 4, durchgeführt werden und es sollten die allgemeinen Richtlinien für eine EMV-verträgliche Installationspraxis nach IEC TR 61000-5-2 angewendet werden.

Wenn Blitzströme durch eine WEA fließen, werden starke magnetische Felder erzeugt. Wenn diese sich ändernden magnetischen Felder eine durch die Verkabelung oder eine durch die Schleife gebildete Schleife durchlaufen, werden Stoßspannungen und -ströme innerhalb dieser Schleife induziert. Die Größe dieser Stoßwellen hängt von der Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Feldes und von der Fläche der betreffenden Schleife ab. Der Konstrukteur muss die Höhe der induzierten Spannungen berücksichtigen und sicherstellen, dass die Stoßwellen den Stehpegel der Verkabelung und der angeschlossenen Betriebsmittel nicht überschreiten.

Schirmung und Leitungsführung sollten durch Analyse und/oder Prüfung nachgewiesen werden.

Weitere Betrachtungen zu der in einer WEA erforderlichen Schirmung sind im Anhang H enthalten.

8.4.6 Koordinierter Überspannungsschutz

Koordinierter Überspannungsschutz besteht aus einer Menge gut ausgewählter SPDs, die so koordiniert und installiert werden, dass Ausfälle der elektrischen und elektronischen Systeme verringert werden.

ANMERKUNG Die Koordination des Überspannungsschutzes muss die Verbindungskreise mit einbeziehen, damit die Isolationskoordination des gesamten Systems sichergestellt ist.

Ein koordinierter Überspannungsschutz begrenzt die Auswirkungen von Blitzstoßwellen und im Inneren erzeugten Schaltstoßwellen. Der Schutz der elektrischen Systeme und Betriebsführungssysteme erfordert sowohl bei elektrischen Niederspannungsanlagen als auch bei Betriebsführungssystemen eine systematische Herangehensweise mit koordinierten SPDs. Empfehlungen für einen koordinierten Überspannungsschutz innerhalb von WEA sind im Anhang G angegeben.

8.4.6.1 Anordnung von SPDs

Nach IEC 62305-4 müssen sich SPDs für LPMS am Leitungseintritt in jede LPZ befinden:

- möglichst nahe an der Grenze von LPZ 1 müssen SPDs installiert werden, die mit I_{imp} (Prüfung der Klasse I) nach der Einteilung in IEC 61643-1 geprüft sind;
- möglichst nahe an der Grenze von LPZ 2 und höher und gegebenenfalls möglichst nah am zu schützenden Betriebsmittel müssen SPDs installiert werden, die mit I_n (Prüfung der Klasse II) nach der Einteilung in IEC 61643-1 geprüft sind.

ANMERKUNG Falls die Verbindungslänge zwischen SPD und Betriebsmittel zu groß ist (d. h. im Allgemeinen länger als 10 m), kann die Ausbreitung von Stoßwellen zu einer Schwingungserscheinung führen, siehe IEC 62305-4, D.2.3 und D.2.4.

8.4.6.2 Auswahl von SPDs

SPDs, die einem Teilblitzstrom mit der typischen Kurvenform $10/350 \mu\text{s}$ standhalten müssen, erfordern einen entsprechenden Prüf-Stoßstrom I_{imp} . Für Netzleitungen ist in IEC 61643-1, Prüfverfahren Klasse I, ein geeigneter Prüfstrom I_{imp} festgelegt.

SPDs, die induzierten Stoßströmen mit der typischen Kurvenform $8/20 \mu\text{s}$ standhalten müssen, erfordern einen entsprechenden Prüf-Stoßstrom I_n . Für Netzleitungen ist in IEC 61643-1, Prüfverfahren Klasse II, ein geeigneter Prüfstrom I_n festgelegt.

SPDs müssen einhalten:

- für Stromversorgungsnetze IEC 61643-1;
- für Telekommunikations- und Signalnetze IEC 61643-21.

8.4.6.3 Einbau von SPDs

SPDs müssen nach den Errichtungsbestimmungen installiert werden, die angegeben sind in:

- IEC 60364-4-44, IEC 60364-5-53 und IEC 61643-12 für den Schutz von Stromversorgungsnetzen;
- IEC 61643-22 für den Schutz der Betriebsführungs- und Kommunikationssysteme.

Die Installationsorte der SPDs müssen beispielsweise durch Zeichnungen und Schaltpläne nach den LPMS dokumentiert werden. SPDs, die an den verschiedenen LPZ-Grenzen installiert sind, und mögliche Überspannungsschutzkomponenten, die innerhalb des Betriebsmittels installiert sind, müssen die Anforderungen an die Energiefestigkeit nach IEC 62305-4 und IEC 61643-12 erfüllen.

Es sind Betrachtungen hinsichtlich der Koordination von SPDs in elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen nach IEC 62305-4 anzustellen. In der Dokumentation sind ausreichend viele Informationen darüber zur Verfügung zu stellen, wie die Koordination zwischen SPDs erreicht wird.

Weitere Hinweise zum Potentialausgleich (Erdung) und zur Verkabelung von elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen sowie von Anlagen sind in 8.4.4 und 8.4.5 enthalten und in Anhang H veranschaulicht.

8.4.6.4 Beanspruchung durch die Umgebung

SPDs müssen Beanspruchungen durch die Umgebung standhalten, die am Installationsort vorliegen, wie:

- Umgebungstemperatur;
- Feuchtigkeit;
- korrosive Atmosphäre;
- Schwingen und mechanischer Schock.

Abhängig von den Bedingungen am Installationsort innerhalb der WEA können sich zusätzliche und spezielle Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und die Installation von SPDs ergeben. Gegebenenfalls sollte der Hersteller der WEA die Umgebungsbedingungen an speziellen Installationsorten wie z. B. Gondel und Nabe berücksichtigen.

8.4.6.5 Wartung

Wartung und Austausch von SPDs müssen nach einem Wartungsplan durchgeführt werden.

SPDs müssen so angebracht werden, dass sie überprüft werden können.

ANMERKUNG Der SPD-Hersteller kann Informationen über die Betriebslebensdauer von SPDs zur Verfügung stellen.

8.4.6.6 Überwachung von SPDs

Der Überspannungsschutz kritischer Teile von elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen von WEA kann eine Überwachung erfordern.

8.4.6.7 Auswahl von SPDs anhand des Schutzpegels (U_p) und der Störfestigkeit des Systems

Zur Beschreibung des geforderten Schutzpegels in einer LPZ ist es erforderlich, die Störfestigkeitspegel der Betriebsmittel in der LPZ festzulegen, z. B. für:

- Netzleitungen und Anschlüsse von Betriebsmitteln nach IEC 61000-4-5 und IEC 60664-1;
- Telekommunikationsleitungen und Anschlüsse von Betriebsmitteln nach IEC 61000-4-5, ITU-T K.20 und K.21;
- andere Leitungen und Anschlüsse von Betriebsmitteln nach den vom Hersteller angegebenen Informationen.

Hersteller von elektrischen und elektronischen Bauteilen sollten in der Lage sein, die notwendigen Informationen über den Störfestigkeitspegel nach den EMV-Normen zu liefern. Ansonsten sollte der WEA-Hersteller Prüfungen zur Festlegung des Störfestigkeitspegels durchführen.

Der festgelegte Störfestigkeitspegel von Bauteilen in einer LPZ definiert unmittelbar den erforderlichen Schutzpegel, der an den LPZ-Grenzen erzielt werden muss.

Die Störfestigkeit eines Systems muss, falls zutreffend, mit allen installierten SPDs und mit den zu schützenden Betriebsmitteln nachgewiesen werden. Mögliche Prüfverfahren sind im Anhang I beschrieben.

8.4.6.8 In WEA erzeugte Überspannungen

Aufgrund starker Spannungsschwankungen und zeitweiliger Überspannungen innerhalb des elektrischen Systems einer WEA können für SPDs besondere Anforderungen gelten. In diesen Fällen müssen die entsprechenden Teile der elektrischen Systeme sowie die Spannungs- und Strompegel und die Dauer durch Analyse und/oder Prüfung festgestellt und die SPDs entsprechend ausgewählt werden. Beispiele sind im Anhang G angegeben.

Es müssen Nachweise dafür vorgelegt werden, dass die ausgewählten SPDs diesen besonderen Beanspruchungspegeln standhalten können.

8.4.6.9 Auswahl von SPDs anhand des Entladungsstromes I_n und des Stoßstromes I_{imp}

Es wird eine Auswertung der Blitzstromverteilung innerhalb der WEA nach IEC 62305-4 empfohlen. Auf der Grundlage dieser Berechnungen können SPDs anhand des Entladungsstromes I_n und des Stoßstromes I_{imp} ausgewählt werden.

SPDs für besonders gefährdete Stromkreise können im Vergleich zu den in IEC 60364-5-53 angegebenen Pegeln eine höhere Bemessung erfordern oder solche Stromkreise können geschirmt werden. Diejenigen Stromkreise, die entweder besonders hohen oder wiederholten Beanspruchungen ausgesetzt sind, sollten durch eine Analyse ermittelt werden. Falls zutreffend müssen solche gefährdeten Stromkreise innerhalb von elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen einer WEA vom WEA-Hersteller in den Schaltplänen gekennzeichnet werden. Weitere Informationen siehe Anhang G.

8.4.6.10 Auswahl von SPDs anhand des Kurzschlussstromes, des Bemessungs-Ausschaltvermögens des Folgestromes und des Lastspiels (Betriebslebensdauer) der SPDs

Der Bemessungswert des Kurzschluss-Stehstromes der Kombination aus dem SPD und der Überstromschutzeinrichtung (z. B. eine Sicherung) und das Bemessungs-Ausschaltvermögen des Folgestromes des SPD nach den Angaben des SPD-Herstellers müssen gleich oder größer sein als der am Installationsort erwartete höchste Kurzschlussstrom. Außerdem muss entweder durch Berechnung oder durch Prüfung nachgewiesen werden, dass die tatsächlich im speziellen Netzstromkreis installierte Überstromschutzeinrichtung nicht anspricht, wenn für das SPD ein Bemessungs-Ausschaltvermögen des Folgestromes angegeben ist.

ANMERKUNG Der SPD-Hersteller kann Informationen über die Betriebslebensdauer von SPDs zur Verfügung stellen.

8.4.6.11 Verhalten von SPDs bei mehrfachen Blitzeinschlägen

Aufgrund der relativ großen Häufigkeit von Blitzeinschlägen in eine WEA und der Besonderheiten der Installation von SPDs innerhalb von WEA müssen SPDs in der Lage sein, mehrfachen Blitzeinschlägen standzuhalten.

8.4.7 Prüfverfahren für Störfestigkeitsprüfung von Systemen

Anhang I enthält vorläufige Prüfverfahren.

8.5 Elektrische Hochspannungsversorgungsnetze

Große WEA werden gewöhnlich über einen Hochspannungstransformator an ein Hochspannungs-Erdkabelnetz angeschlossen, das ein Feld von WEA entweder direkt mit dem Netz oder mit einer Umspannstation verbindet, die die Spannung auf den Wert des Verzweigungsnetzes von beispielsweise 132 kV aufwärtstransformiert.

Der Hochspannungstransformator der WEA kann auf der Rückseite der Gondel, im Boden des Turmes oder neben dem Turm der WEA angeordnet werden.

Überspannungsschutzeinrichtungen für Hochspannung werden gewöhnlich als Überspannungsableiter bezeichnet. In einer WEA dienen Überspannungsableiter im Allgemeinen dem Schutz des Transformators und des Hochspannungsnetzes gegen einen Anstieg des Erdpotentials durch Blitzströme, die durch die Erdungsanlage der WEA fließen, und dem Schutz gegen transiente Spannungen, die von außen durch das Hochspannungskabelnetz in die WEA eingeführt werden. Der Bedarf an Überspannungsableitern auf der Hochspannungsseite des Transformators sollte nach den Grundsätzen in IEC 62305-2 (siehe Abschnitt 7 und Anhang B) beurteilt werden.

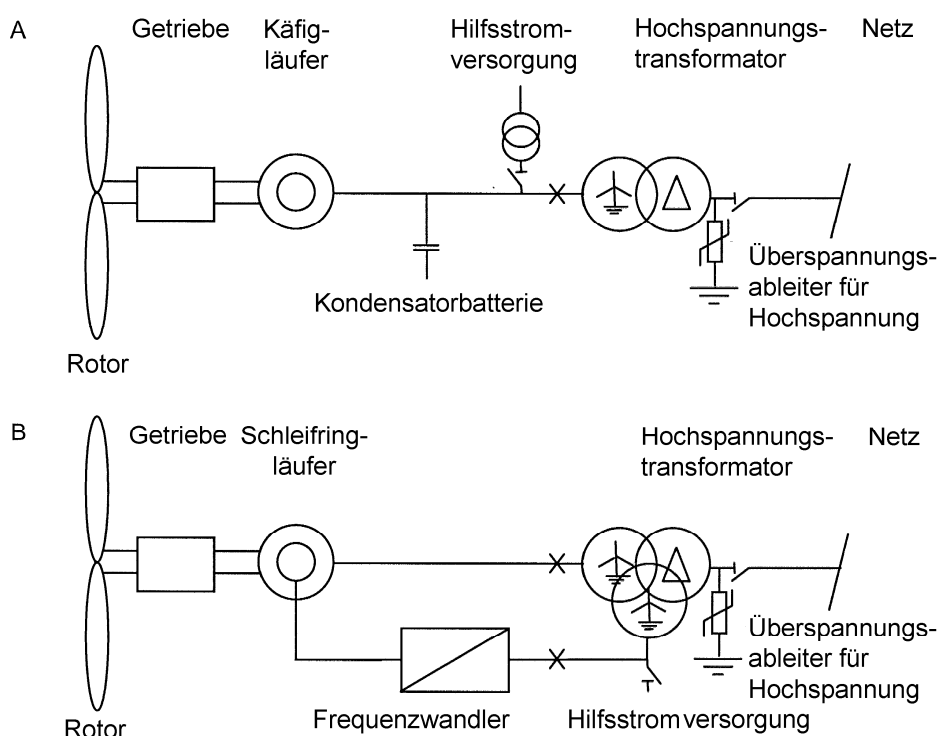


Bild 4 – Beispiele für die Anordnung von Überspannungsableitern für Hochspannung in zwei typischen elektrischen Hauptstromkreisen von WEA:

- A) Asynchrongenerator mit Käfigläufer und**
B) Asynchrongenerator mit Schleifringläufer

Überspannungsableiter für Hochspannung sollten vorzugsweise wie in Bild 4 dargestellt an den Hochspannungsanschlüssen des Transformators angebracht werden, damit sie den größtmöglichen Schutz für den Transformator bieten. Es kann jedoch vorteilhaft sein, Überspannungsableiter an der Schaltanlage anzuordnen. Abhängig vom Isolationspegel des Bauteils ist im Allgemeinen ein Abstand von 10 m bis 40 m zwischen Ableiter und zu schützendem Bauteil möglich; falls der Abstand größer ist, ist eine genauere Untersuchung erforderlich, um zu entscheiden, ob beispielsweise Ableiter am Turmfuß den notwendigen Schutz für einen in der Gondel befindlichen Transformator bieten können. Wenn sich der Transformator außerhalb des Turmes befindet, ist es wichtig, dass die Erdungsanlage des Transformators mit der Erdungsanlage der WEA verbunden wird, vorzugsweise sollte es sich um eine Erdungsanlage handeln.

SPDs auf der Niederspannungsseite des Hochspannungstransformators sind möglicherweise eine geeignete allgemeine Schutzmaßnahme, vor allem wenn maßgebliche Transienten von der Hochspannungsseite aus

durch den Transformator fließen können; in diesem Fall sollte ein SPD-Typ für Transformatoranwendungen ausgewählt werden (d. h. SPDs mit einem hohen Energieaufnahmevermögen). Die kurzzeitige kapazitive und induktive Kopplung zwischen Hochspannungs- und Niederspannungsseite eines Transformators und damit auch die auf die Niederspannungsseite übertragenen transienten Pegel hängen stark von der Ausführung des Transformators und besonders von der Erdungsverbindung der Niederspannungswicklungen ab (weitere Informationen siehe IEC 60071-2, Anhang E). Die Installation von SPDs auf der Niederspannungsseite des Transformators ist daher als allgemeine Schutzmaßnahme empfehlenswert oder als Alternative dazu sollte vom Hersteller für die Untersuchung von Transienten ein ausreichend genaues Transformatormodell angefordert werden, damit entschieden werden kann, ob SPDs auf der Niederspannungsseite des Transformators notwendig sind.

ANMERKUNG Es sollten die allgemeinen Anforderungen an die Hochspannungsausrüstung für Maschinen in IEC 60204-11 beachtet werden.

9 Erdung von Windenergieanlagen und Windparks

9.1 Allgemeines

Zur Verteilung von Blitzströmen und zur Verhinderung einer Zerstörung der WEA ist eine wirksame Erdungsanlage für die Maschine unbedingt notwendig. Die Erdungsanlage muss darüber hinaus Menschen und Tiere gegen elektrischen Schlag schützen. Wenn im elektrischen Netz Fehlzustände auftreten, müssen die Berührungs- und Schrittspannungen und der Anstieg des gesamten Erdpotentials auf einen sicheren Pegel begrenzt werden, bis Schutzeinrichtungen auslösen und den Fehlerstromfluss sicher unterbrechen. Bei Blitzeinschlägen muss die Erdungsanlage einen Blitzstrom mit hoher Frequenz und hohem Energiegehalt in die Erde ableiten und dort verteilen, ohne dass gefährliche thermische und/oder elektrodynamische Wirkungen auftreten.

Es ist allgemein empfehlenswert, dass für eine WEA eine Erdungsanlage aufgebaut wird, welche für den Blitzschutz sowie für die Erdung des Stromversorgungsnetzes benutzt wird. Weiterhin wird empfohlen, in die Erdungsanlage Metallteile des Fundamentes einzubeziehen, weil sich bei großen Fundamenten der geringstmögliche Erdungswiderstand ergibt und weil der Versuch, eine Erdungsanlage von den Metallteilen des Fundamentes abzutrennen, besonders für Betonfundamente eine konstruktive Gefährdung darstellen würde.

Für die Ausführung der Erdungsanlage zur Verhinderung hoher Schritt- und Berührungsspannungen durch Ausfälle in Hochspannungsbauteilen wird auf elektrische Hochspannungsvorschriften wie CENELEC HD637 S1 oder einschlägige nationale Normen verwiesen. Für die Sicherheit von Personen siehe IEC/TRS 60479-1 und IEC/TRS 60479-4.

9.1.1 Grundanforderungen

Die Erdungsanlage der WEA muss so ausgeführt werden, dass ein ausreichender Schutz gegen Beschädigung durch Blitzeinschläge sichergestellt ist, die dem LPL entsprechen, für den das Schutzsystem der WEA ausgelegt ist.

Die Erdungsanlage muss so ausgeführt sein, dass vier grundlegende Auslegungsanforderungen erfüllt werden:

- 1) Gewährleistung der Sicherheit von Personen hinsichtlich von Schritt- und Berührungsspannungen, die bei Erdschlüssen auftreten;
- 2) Verhindern der Beschädigung von Betriebsmitteln;
- 3) Beständigkeit gegen thermische und elektrodynamische Kräfte, denen sie bei einem Fehler ausgesetzt ist;
- 4) ausreichende langfristige mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

9.1.2 Anordnungen von Erdern

In IEC 62305-3 werden zwei Grundarten von Erderanordnungen beschrieben, die für WEA gelten:

- Anordnung Typ A: Diese Anordnung ist für WEA nicht empfehlenswert, kann aber für Nebengebäude angewendet werden (z. B. Gebäude, die Messeinrichtungen enthalten, oder Bürobaracken, die in Verbindung mit einem Windpark stehen). Erdungsanordnungen Typ A bestehen aus Horizontal- oder Vertikalerdern, die mit mindestens zwei Ableitungen am Bauwerk verbunden sind.

ANMERKUNG Weitere Informationen über Anordnungen Typ A siehe IEC 62305-3, 5.4.2.1.

- Anordnung Typ B: Diese Anordnung ist für WEA empfehlenswert. Dieser Typ der Anordnung besteht entweder aus einem äußeren Ringerder, der über wenigstens 80 % seiner Gesamtlänge im Erdboden verlegt ist, oder aus einem Fundamenterder. Ringerder und Metallteile im Fundament müssen mit der Turmkonstruktion verbunden sein.

9.1.3 Impedanz der Erdungsanlage

Die übliche Erdungsimpedanz der Erdungsanlage beeinflusst nicht die Wirksamkeit der Fangeinrichtung und des Ableitungssystems. Die Erdungsanlage muss so ausgeführt sein, dass sie eine möglichst geringe Impulsimpedanz besitzt, um den gesamten Spannungsabfall herabzusetzen (d. h. Verringerung des Anstiegs des Erdpotentials), um den Teilblitzstrom zu verringern, der in die mit der WEA verbundenen Versorgungsleitungen hineinfließt, und um die Gefahr der Funkenbildung mit anderen Versorgungsleitungen dicht an der Erdungsanlage zu reduzieren.

Durch die Verlegetiefe und die Art der Erder müssen die Auswirkungen von Korrosion, Bodenaustrocknung und Gefrieren verringert und damit der übliche Erdungswiderstand stabilisiert werden. Es ist empfehlenswert, den ersten Meter eines Vertikalerders unter Frostbedingungen als unwirksam anzusehen.

Die Komponenten der Erdungsanlage müssen in der Lage sein, Blitzströmen sowie Fehlerströmen des Stromversorgungsnetzes standzuhalten. Dies wird sichergestellt, indem die Komponenten der Erdungsanlage nach IEC 62305-3 ausgewählt werden. Die Erdungsanlage muss so konstruiert sein, dass der Blitzstrom ohne thermische oder elektrodynamische Beschädigungen in der Erde verteilt wird, und die Leiterlänge muss möglichst kurz sein.

Weitere Informationen sind in J.2.2 enthalten.

9.2 Potentialausgleichsverbinding

9.2.1 Allgemeines

Ein Potentialausgleich wird erreicht, indem die BSA verbunden wird mit:

- metallischen Konstruktionsteilen;
- metallischen Installationen;
- inneren Systemen;
- äußeren leitenden Teilen und Versorgungsleitungen, die mit dem Bauwerk verbunden sind.

Wenn ein Blitzschutz-Potentialausgleich mit inneren Systemen hergestellt wird, kann ein Teil des Blitzstromes in diese Systeme hineinfließen und dieser Umstand muss berücksichtigt werden.

Die Art und Weise, auf die ein Blitzschutz-Potentialausgleich der Versorgungsleitungen wie Telekommunikations- und Netzleitungen erzielt wird, ist von Bedeutung und muss mit dem Betreiber des Telekommunikationsnetzes, dem Betreiber des elektrischen Netzes und anderen betroffenen Betreibern oder Behörden abgesprochen werden, da dabei widersprüchliche Anforderungen auftreten können.

9.2.2 Blitzschutz-Potentialausgleich für metallische Installationen

Blitzschutz-Potentialausgleichsverbindungen müssen so direkt und gerade wie möglich ausgeführt werden.

Die Mindestwerte des Querschnittes für den Potentialausgleichsleiter, der verschiedene Potentialausgleichsschienen/-punkte miteinander verbindet, und für Leiter, die die Schienen/Punkte mit der Erdungsanlage verbinden, sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Die Mindestwerte des Querschnittes der Potentialausgleichsleiter, die innere metallische Installationen mit den Potentialausgleichsschienen/-punkten verbinden, sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 5 – Kleinstmaße von Leitern, die verschiedene Potentialausgleichsschienen/-punkte miteinander verbinden oder die Potentialausgleichsschienen/-punkte mit der Erdungsanlage verbinden (IEC 62305-3, Tabelle 8)

BSA-Klasse	Werkstoff	Querschnitt mm ²
I bis IV	Kupfer	14
	Aluminium	22
	Stahl	50

Tabelle 6 – Kleinstmaße von Leitern, die innere metallische Installationen mit Potentialausgleichsschienen/-punkten verbinden (IEC 62305-3, Tabelle 9)

BSA-Klasse	Werkstoff	Querschnitt mm ²
I bis IV	Kupfer	5
	Aluminium	8
	Stahl	18

9.2.3 elektrisch isolierte BSA

Der Einsatz einer isolierten äußeren BSA ist für WEA nicht empfehlenswert.

9.3 Konstruktionsteile

Im Allgemeinen sind alle leitenden Konstruktionsteile von WEA in der Lage, einen Teil des Blitzstromes zu leiten, und deshalb muss eine Potentialausgleichsverbindung zwischen leitenden Konstruktionsteilen hergestellt werden.

9.3.1 Röhrenförmige Metalltürme

Der Turm muss als primärer Schutzerdungsleiter (PE) und als Potentialausgleichsverbindung angesehen werden.

Aufgrund der Turmhöhe sind direkte Blitzeinschläge in den Turm zu erwarten und dieser Umstand ist bei der Konstruktion des Turmes zu berücksichtigen. Alle elektrisch leitenden Bauteile und alle größeren Metallteile, die einen Blitzstrom führen können, müssen mit dem Turm verbunden werden. Der Turm muss als Ableitung verwendet werden und so konstruiert sein, dass der Blitzstrom ohne Behinderung entlang des Turmes fließen kann.

9.3.2 Betontürme mit Metallbewehrung

Der Turm muss als primärer Schutzerdungsleiter (PE) und als Potentialausgleichsverbindung angesehen werden. Aufgrund der Turmhöhe sind direkte Blitzeinschläge in die Turmkonstruktion zu erwarten und dieser Umstand ist bei der Konstruktion des Turmes zu berücksichtigen (siehe IEC 62305-3, E.4.3).

Äußere BSA können für den Einsatz an Betontürmen in Betracht gezogen werden, sie sollten aber immer mit dem Bewehrungsstahl des Turmes verbunden sein.

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

Anschlussstellen von Potentialausgleichsverbindungen, die mit dem Bewehrungsstahl verbunden sind, müssen an günstigen Anschlusspunkten für elektrisch leitende Verbindungen mit Betriebsmitteln innerhalb des Turmes angeordnet werden. Bewehrte Betontürme müssen nach 9.3.5 konstruiert werden.

9.3.3 Gittertürme

Ein Gitterturm schützt den Innenraum des Turmes gegen direkten Blitzeinschlag und bietet eine gewisse Schwächung des elektromagnetischen Feldes des Blitzes, somit wird der Raum innerhalb des Turmes als LPZ 0_B eingestuft. Die Ableitung des Blitzes sollte über die Konstruktionselemente des Gitterturmes erfolgen, die dafür die in IEC 62305-3 für Ableitungen geforderten Maße erfüllen müssen, wobei die Stromteilung zwischen parallelen Blitzpfaden berücksichtigt werden muss.

Ein bestimmter Schutz für Kabel kann erzielt werden, indem sie in den Winkeln der Metallprofile der Turmpfosten verlegt werden. Schirmende Kabelschutzrohre oder Installationskanäle innerhalb des Gitterturmes bieten auch Schutz.

9.3.4 Systeme innerhalb des Turmes

Der Innenraum des Turmes kann in eine oder mehrere LPZ eingeteilt werden, für die der für die inneren Betriebsmittel geforderte Schutzpegel wie in 8.4 erläutert beurteilt werden muss.

Leitersysteme müssen an jedem Ende, im Abstand von jeweils 20 m und an jeder Plattform mit dem Turm verbunden werden.

Schienen, Führungen für Hebezeuge, Hydraulikleitungen, Seile für den Personenschutz und andere Bauteile, die durch einen Turm führen, müssen an jedem Ende an einen Potentialausgleich angeschlossen sein. Darüber hinaus sollte sich an Gittertürmen möglichst alle 20 m eine Potentialausgleichsverbindung befinden.

Die Erdungsanlage des Hochspannungstransformators sollte mit der Erdungsanlage der WEA verbunden werden. Es ist nicht empfehlenswert, gesonderte Erdungsanlagen für Stromversorgungsnetze und für den Blitzschutz zu verwenden.

9.3.5 Betonfundament

Da die Metallbewehrung des Fundamentes der WEA aufgrund der mechanischen und elektrischen Verbindungen des Turmes immer Teil des Blitzstrom- oder Ableitstrompfades zu einer entfernten Erde ist, muss die Metallbewehrung in einem Fundament immer als Teil der BSA angesehen werden.

Der elektrische Durchgang des Stahlgerüsts in bewehrten Betonkonstruktionen muss sichergestellt sein. Ein Stahlgerüst in bewehrten Betonkonstruktionen wird als elektrisch durchgängig angesehen, wenn die Hauptteile senkrechter und waagerechter Stäbe miteinander verbunden sind. Verbindungen zwischen Teilen mit Metallbewehrung müssen entweder verschweißt oder geklammert werden, oder sie müssen sich mindestens mit deren 20fachem Durchmesser überlappen und mit einem leitenden Draht oder auf andere Weise sicher verbunden werden. An den Verbindungsstellen sollte besonders darauf geachtet werden, dass der Beton nicht durch eine örtliche Lichtbogenbildung über schlechten Kontakten beschädigt wird.

Die Verbindungen zwischen Bewehrungselementen müssen vom Konstrukteur vorgegeben werden und der Errichter muss eine Qualitätskontrolle der Verbindungen durchführen. Die Forderung nach kurzen und geraden Verbindungen für die Blitzschutzterdung muss auf jeden Fall berücksichtigt werden.

Wenn die Metallbewehrung für die Schutzterdung des Versorgungsnetzes verwendet wird, muss die Dicke der metallischen Bewehrungsstäbe und der Verbindungen die Anforderungen für Erdungsanlagen des Energieversorgungssystems erfüllen, die gewöhnlich in elektrotechnischen Installationsvorschriften festgesetzt sind.

An geeigneten Stellen am Fundament müssen Anschlussstellen für zusätzliche Potentialausgleichsverbindungen, Messungen oder Erweiterungen der Erdungsanlage vorgesehen werden.

9.3.6 Gründung in felsigen Gebieten

In felsigen Gebieten ist der geringste spezifische Widerstand gewöhnlich an der Felsenoberfläche zu finden.

Es muss die Erdungsanlage Typ B verwendet werden. Weitere Informationen zu Konstruktionseinzelheiten siehe J.1.1.

Für den Schritt- und Berührungsspannungsschutz wird die Verwendung von mindestens zwei konzentrischen Ringerdern empfohlen, die mit Vertikalerdern kombiniert werden können, die in den Felsen gebohrt werden.

Felsankerbolzen müssen miteinander und mit dem Ringerdungssystem verbunden werden. Wenn metallbewehrter Beton verwendet wird, siehe 9.3.5.

In felsigen Gebieten kann ohne Herstellung einer sehr umfangreichen Erdungsanlage möglicherweise kein geringer Erdungswiderstand erreicht werden. In solchen Gebieten sollte der Schwerpunkt deshalb auf eine Lenkung des Oberflächenpotentialunterschiedes ausgerichtet werden, um Berührungs- und Schrittspannungen an der Oberfläche zu begrenzen, wo Menschen und Tiere stehen können, z. B. durch Anordnung eines Ringerders oder mehrerer Ringerder um die WEA und andere Anlagen, während ein Überspannungsschutz für alle Versorgungsleitungen bereitgestellt wird, die die WEA mit dem Energiesammelsystem und mit den Kommunikationssystemen verbinden (siehe 8.4)

9.3.7 Metallische Monopfahlgründung

Eine metallische Monopfahlgründung ist naturgemäß ein großer Erder. Sie muss als primärer Erder benutzt werden.

In Abhängigkeit vom spezifischen Bodenwiderstand kann ein Ringerdersystem zur Lenkung des Oberflächenpotentialgefälles nahe der Gründung erforderlich sein.

9.3.8 Offshore-Gründung

Der spezifische Widerstand von Meerwasser ist beträchtlich geringer als der der meisten Böden. Deshalb werden für eine Offshore-Gründung wie eine Monopfahlgründung oder ein Betonfundament mit Metallbewehrung die Anforderungen an die Erdungsanlage als erfüllt angesehen und es sind keine weiteren Maßnahmen wie Ringerder usw. erforderlich. Eine Verbindung von Offshore-Gründungen miteinander außer durch die Verbindung von Kabelschirmungen des Sammelsystems ist im Allgemeinen nicht erforderlich.

Aufgrund von Korrosion können äußere Erdungsanlagen aus Kupfer in Offshore-Gebieten nicht benutzt werden.

9.4 Maße von Erdern

Die Mindestlänge l_1 der Erder hängt vom Gefährdungspegel (I bis IV) und vom spezifischen Bodenwiderstand ab.

Für spezifische Bodenwiderstände über 500 Ωm steigt die Mindestlänge l_1 linear bis auf 80 m bei einem spezifischen Bodenwiderstand von 3 000 Ωm .

Anordnungen Typ B bestehen entweder aus einem Ringleiter außerhalb des zu schützenden Bauwerkes, der über wenigstens 80 % seiner Gesamtlänge im Erdboden verlegt ist, oder aus einem Fundamenterder. Solche Erder dürfen auch vermascht sein.

Beim Ringerder (oder Fundamenterder) darf der mittlere Radius r_e der Fläche, die vom Ringerder (oder Fundamenterder) eingeschlossen wird, nicht weniger als l_1 betragen:

$$r_e \geq l_1 \quad (17)$$

Dabei wird l_1 für LPZ I, II, III bzw. IV im Anhang J, Bild J.1 dargestellt.

Ist der für l_1 geforderte Wert größer als der für r_e günstige Wert, müssen zusätzliche Horizontal- oder Vertikalerder (oder Schrägerder) hinzugefügt werden, deren jeweilige Längen l_r (horizontal) und l_v (vertikal) sich aus den folgenden Gleichungen ergeben:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (18)$$

$$l_v = (l_1 - r_e)/2 \quad (19)$$

Die Anzahl der Erder darf nicht kleiner sein als zwei.

Die zusätzlichen Erder sollten möglichst in gleichmäßigem Abstand angeordnet werden.

Die angegebene Mindestlänge l_1 kann vernachlässigt werden, wenn der Erdungswiderstand der Erdungsanlage bei Messungen bei einer von der Netzfrequenz (50 Hz bis 60 Hz) abweichenden Frequenz und deren Oberschwingungen geringer Ordnung kleiner als $10 \, \Omega$ ist.

Informationen über den spezifischen Bodenwiderstand, den unbeeinflussten Erdschlussstrom und die Abschaltzeit sind beim Entwurf der ordnungsgemäßen Auslegung und Installation der Erdungsanlage von allergrößter Bedeutung.

Der spezifische Bodenwiderstand schwankt in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften sehr stark. Verfahren zur Berechnung des erforderlichen Erders nach der geometrischen Form und der physikalischen Art sind im Anhang J enthalten.

9.5 Windparks

Ein Windpark besteht gewöhnlich aus einer Anzahl von Bauwerken wie WEA, Gebäuden, einer Infrastruktur aus Kabeln oder Freileitungen, Hochspannungsstationen und Signalleitungen.

Jede WEA muss ihre eigene Erdungsanlage besitzen, die mit der Gesamterdungsanlage des Windparks verbunden sein muss.

Dies Erdungsanlage eines Windparks ist sehr wichtig für den Schutz der elektrischen Systeme, weil die niederohmige Erdungsanlage den Potentialunterschied zwischen den verschiedenen Bauwerken des Windparks verringert und damit die in die elektrischen Verbindungen eingekoppelten Störungen herabsetzt.

Um die Wahrscheinlichkeit von direkten Blitzeinschlägen in Kabeltrassen im Boden und induzierte Blitzwirkungen in den Kabeln zu verringern, ist es empfehlenswert, über den Kabeltrassen eine Erdungsleitung oder bei größeren Kabeltrassen eine Anzahl von Erdungsleitungen zu verlegen.

9.6 Errichtung und Wartung von Erdungsanlagen

Der Planer der Erdungsanlage muss einen Installationsplan erstellen, in dem die Verlegung der Erdungsanlage mit den einzelnen Anschlusspunkten, die Verwendung von Steckverbindern, Klemmen und Schweißverbindungen und die Lage sowie die Menge von Anschlussstellen und deren Art und Qualität beschrieben sind.

Während der Bauarbeiten und besonders vor dem Gießen des Betons muss eine Inspektion durchgeführt werden.

ANMERKUNG Elektrische Installationsvorschriften können Messungen des Erdungswiderstandes erforderlich machen.

Im Wartungshandbuch muss beschrieben werden, wie oft und wie die Erdungsanlage zu kontrollieren und warten ist. Die Inspektionsintervalle sollten zwischen Planer und Betreiber der WEA vereinbart werden. Dabei sollten aggressive Umgebungen berücksichtigt werden, in denen regelmäßige Inspektionen erforderlich sein können. Wenn zu erwarten ist, dass Bauteile in der Erdungsanlage eine bestimmte Betriebslebensdauer besitzen, darf das Inspektionsintervall nicht länger sein als die kürzeste erwartete Betriebslebensdauer der Bauteile.

10 Sicherheit von Personen

Die Errichtung großer WEA auf dem Land dauert mehrere Tage, wenn die Zeit mitgerechnet wird, die die Montage und Demontage der sehr großen Kräne, die benötigt werden, erfordert. Offshore-WEA können dagegen in weniger als einem Tag errichtet werden, wenn besondere Schiffe oder Hubinseln benutzt werden. Bis zur Inbetriebnahme der WEA dauert es in jedem Fall gewöhnlich noch einige Wochen, die für nachträgliche Fertigstellungsarbeiten benötigt werden. Während dieser Zeit arbeiten viele Menschen in, an und in der Nähe der WEA und diese sind einem beträchtlichen Risiko durch einen Blitzeinschlag in die WEA ausgesetzt.

Deshalb sollten Sicherheitsmaßnahmen gegen Blitzeinschläge ergriffen werden. Diese Verfahren sollten umfassen:

- eine regelmäßige Überprüfung der örtlichen Wettervorhersage (z. B. jeden Morgen);
- Erste-Hilfe-Ausbildung des Personals für Verletzungen durch Blitz und durch Elektrounfälle;
- möglichst baldiger Anschluss an Zwischenerdungsanlagen;
- Kennzeichnung sicherer Orte;
- Informationen über Signale zur Blitzwarnung für alle Personen auf der Baustelle;
- Anweisungen für das Personal hinsichtlich:
 - der Beobachtung der Entwicklung von Gewitterwolken, von Donner und sichtbaren Blitzen;
 - der Wahrnehmung starker elektrischer Felder durch Gewitterwolken wie hochstehende Haare, knisternde Geräusche oder Leuchterscheinungen, die von spitzen Bauteilen wie Fangeinrichtungen ausgehen;
 - Unterbrechung der Arbeit und Aufsuchen des nächsten sicheren Ortes, wenn Blitzgefährdungen wahrgenommen oder Blitzwarnsignale beobachtet werden.

Solche Sicherheitsmaßnahmen sollten in den Gesundheits- und Sicherheitsplan der Baustelle und in das Errichtungshandbuch der WEA sowie in das Betriebs- und Wartungshandbuch, das vom WEA-Lieferanten zur Verfügung gestellt wird, aufgenommen werden.

Meteorologische Dienste liefern gewöhnlich halbwegs genaue Gewittervorhersagen und bieten auch einen Warndienst über das Telefon, Fax oder Internet, die auf jeden Fall in Betracht gezogen werden sollten. Damit sollten jedoch nicht die Anweisungen für die Personen auf Baustelle außer Kraft gesetzt werden, die Entwicklung von Gewitterwolken, von Donner (hörbar bis auf eine Entfernung von 10 km bis 15 km) und von Blitzen (sichtbar bis etwa 30 km) zu beobachten. Eventuell sinnvolle lokale und auch tragbare Blitzortungs- und Gewitterwarneinrichtungen können von mehreren Herstellern bezogen werden.

Einige Blitzwarneinrichtungen geben nicht für alle Blitze eine Warnung aus, besonders nicht für die erste Blitzentladung bei einem sich entwickelnden Gewitter. Es ist deshalb wichtig, dass sich alle Personen der Gefahr von Blitzen für ihre persönliche Sicherheit bewusst sind.

Kräne, Generatoren usw. sollten während der Bauarbeiten möglichst schnell mit der Erdungsanlage verbunden werden.

Personen, die an der Außenseite der Gondel und an den Rotorblättern arbeiten, sind definitiv nicht sicher, genauso wie Personen, die aus dem Turm der WEA hinausklettern, neben dem Turm stehen, Leitern besteigen, an elektrischen Stromkreisen arbeiten usw. bei Blitzeinschlägen in die WEA einer Gefahr ausgesetzt sind. Sie sollten daher angewiesen werden, die Arbeit zu unterbrechen und einen sicheren Ort aufzusuchen, bis die Gefahr vorüber ist.

Plattformen innerhalb von röhrenförmigen Türmen werden gewöhnlich als sicherer Ort angesehen, da der Turm ein fast perfekter Faradayscher Käfig ist. Personen in der WEA sollten angewiesen werden, die Arbeit zu unterbrechen und die nächste Plattform innerhalb des Turmes aufzusuchen und dort zu bleiben, bis das Gewitter vorbeigezogen ist. Andere sichere Plätze befinden sich innerhalb von Fahrzeugen mit einem Metallschuttdach, in Metallbehältern usw.

E DIN IEC 61400-24 (VDE 0127-24):2009-03

Da eine erfolgreiche Kommunikation auf einer Baustelle schwierig ist, sollten bestimmte akustische Warnsignale, Funk oder für ein großes Gebiet gleichwertig wirksame Maßnahmen vereinbart werden (es könnte sich einfach um ein wiederholtes Hupen mit einer Autohupe oder einem Druckluft-Signalthorn handeln).

ANMERKUNG In der Dokumentation der WEA sollten sichere Orte in der WEA angegeben werden einschließlich von notwendigen Sicherheitsabständen und anderen Vorsichtsmaßnahmen, die von Personen am sicheren Ort zu ergreifen sind. IEC 62305-3 enthält Richtlinien dafür, wie der Sicherheitsabstand genau zu ermitteln ist.

11 Dokumentation der Blitzschutzanlage

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über alle Dokumentationen, die in den anderen Abschnitten gefordert werden. Für eine bessere Übersicht sind alle Beschreibungen gekürzt und zusammengefasst.

In 11.1 ist die Dokumentation für die Bewertung der Konstruktion beschrieben und in 11.2 für die Bewertung des Standortes. Die vor der Inspektion der BSA erforderliche Dokumentation ist in 11.3 angegeben und in 11.4 sind die Handbücher aufgeführt.

Die Dokumentation kann entweder ein einzelnes Dokument sein oder eine Verweisung auf eine Normdokument.

11.1 Für die Bewertung der Konstruktion erforderliche Dokumentation

Allgemeine Dokumente (11.1.1) richten sich auf die WEA als Ganzes und beschreiben die angewendete Philosophie des Schutzes. Sie müssen mit den anderen ausführlicheren Dokumenten für die Rotorblätter, mechanische und elektrische Systeme, Potentialausgleichssysteme, Erdungsanlagen und andere Systeme (11.1.2 bis 11.1.6) verknüpft werden.

11.1.1 Allgemeine Dokumentation

- 1) Allgemeine Übersichtszeichnungen (eindimensionale Darstellung) des Blitzschutzes der WEA mit:
 - a) den einzelnen Elementen und Verbindungen;
 - b) Schaltplänen mit den LPZ und deren Grenzen, Anhang G enthält grundlegende Beispiele für diese Dokumentation;
 - c) Blitzfangeinrichtungen;
 - d) Anordnung der Blitzableitungen;
 - e) Erdern und Lenkung des Oberflächenpotentials;
 - f) Anordnung der Potentialausgleichsleiter und -schienen;
 - g) Anordnung von SPDs;
 - h) Anschlusspunkten für die Kabelschirmung.
- 2) Konstruktion:
 - a) Beschreibung, wie der Blitzstrom von den Einschlagpunkten abgeleitet wird;
 - b) für die Konstruktion angewendeter Gefährdungspegel;
 - c) falls weniger als LPL I angewendet wird, sollte die Risikobewertung dokumentiert werden;
 - d) eine Analyse der Blitzstromverteilung innerhalb der WEA;
 - e) Auswahl und Nachweis der Energiekoordination der SPDs.
- 3) Maßnahmen hinsichtlich des Blitzschutzes für die Sicherheit von Personen.

11.1.2 Dokumentation für die Rotorblätter

- 1) Zeichnungen der Rotorblätter mit:
 - a) Querschnitten der Ableitungen;