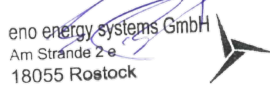




Blitz- und Überspannungsschutzkonzept für eine Windenergieanlage (WEA) vom Typ eno1xx

eno energy systems GmbH
 Kempowski-Ufer 1
 18055 Rostock
 Tel.: (+49) (0)381 203792-0
 Fax.: (+49) (0)381 203792-101
 info@eno-energy.com
 www.eno-energy.com

Autor: Mirko Thiel	Bearbeiter: Johannes Krüger	Freigabe: Stefan Bockholt
		 eno energy systems GmbH Am Strände 2 e 18055 Rostock
Ort, Datum	Ort, Datum	Ort, Datum
Rostock, den 13.11.2019	Rostock, den 24.01.2022	Rostock, den 24.01.2022

Dieses Dokument ist nur mit entsprechendem Freigabevermerk gültig.

Document name: eno1xx_Blitz_Ueberspannungsschutz_de_rev2.docx Project: eno1xx – Blitz und Überspannungsschutz Author: Mirko Thiel, review: Thomas Deutschmann	Classification: confidential Revision: 2
Date: 13.11.2019	Page 1 of 13



Vermerk zur Aktualisierung

Das Dokument – *eno1xx_Blitz_Ueberspannungsschutz_de_rev2.docx* – unterliegt keiner automatischen Aktualisierung und dient lediglich der Information.

Durch Produktentwicklung und Optimierung können sich Inhalte des Dokumentes, ohne vorherige Ankündigung, ändern.

Jeder Nutzer des Dokumentes hat eigenverantwortlich sicher zu stellen, dass er die jeweils aktuelle und gültige Ausgabe des Dokumentes nutzt.

Schutzvermerk entsprechend ISO 16016

Copyright © 2022 eno energy systems GmbH

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokumentes – *eno1xx_Blitz_Ueberspannungsschutz_de_rev2.docx*, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster-, oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

Änderungsverlauf

Rev.	Datum	Name	Änderungen
0	13.11.2019	Mirko Thiel	Neues Dokument
1	18.08.2020	Mirko Thiel	Gültigkeit um eno136 erweitert und Abschnitt 4.3.1.b angepasst
2	24.01.2022	Johannes Krüger	Gültigkeit um eno140 erweitert und Abschnitt 4.3.1.c ergänzt

Inhaltsverzeichnis

1	Gültigkeit	5
2	Einleitung.....	5
3	Klassifizierung nach Gefährdungsgrad	5
4	Berechnungsgrundlage	6
4.1	Wirksamkeit der Fangeinrichtung	6
4.2	Blitzschutzzoneneinteilung	6
4.2.1	LPZ 0A.....	7
4.2.2	LPZ 0B.....	7
4.2.3	LPZ 1	7
4.2.4	LPZ 2...n.....	7
4.3	Komponenten des Blitzschutzsystems	10
4.3.1	Rotorblatt – Nabe.....	10
4.3.1.a	Rotorblatt der eno114.....	10
4.3.1.b	Rotorblatt der eno126 und der eno136	10
4.3.1.c	Rotorblatt der eno140	11
4.3.2	Nabe – Maschinenträger	11
4.3.3	Maschinenträger – Turm	11
4.3.4	Maschinenhaus – Maschinenträger.....	12
4.3.5	Turmkopf – Turmfuß.....	12
4.3.6	Turmfuß – Fundament.....	12
4.3.7	Fundament – Trafostation	12
4.4	Überspannungsschutz und Potenzialausgleich.....	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Auflistung und Einordnung der Komponenten zu den einzelnen Blitzschutzzonen 9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Einteilung der Turbinenanteile 8

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung / Erläuterung
BSZ	Blitzschutzzone
LPL	Lightning Protection Level
LPZ	Lightning Protection Zone (Blitzschutzzone)
WEA	Windenergieanlage

1 Gültigkeit

Dieses Dokument ist für die folgenden Windenergieanlagen Typen der eno energy systems GmbH gültig:

- eno114 (alle Nabenhöhen)
- eno126 (alle Nabenhöhen)
- eno136 (alle Nabenhöhen)
- eno140 (alle Nabenhöhen)

Zur Verallgemeinerung des Bezugs auf die Typen eno114, eno126, eno136 und eno140 werden die betrachteten WEA nachfolgend mit eno1xx bezeichnet.

2 Einleitung

Das folgende Dokument beschreibt die Konzeption des Blitz- und Überspannungsschutzes der eno1xx Turbinenplattform. Die Auslegung des Schutzkonzeptes basiert auf den einschlägigen Normen IEC 61400-24:2010 und DIN EN 61400-24:2011-4 sowie der Normenreihe DIN EN 62305 und weitestgehend den Empfehlungen des Germanischen Lloyd nach GL 2010 IV – Teil1: Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen.

3 Klassifizierung nach Gefährungsgrad

Gemäß den Richtlinien für die Zertifizierung von Windenergieanlagen des Germanischen Lloyd ist die eno1xx nach IEC 61400-24:10 bzw. IEC 62305-1 der **Blitzschutzklasse I** (LPL) zuzuordnen, da sie ausschließlich mit Nabenhöhen von größer als 60 m zum Einsatz kommen wird. Entsprechend dieser Einteilung ergeben sich folgende Blitzstromparameter für die Dimensionierung des äußeren Blitzschutzsystems:

- Scheitelwert $I_s = 200 \text{ kA}$
- Gesamtladung $Q_{\text{ges}} = 300 \text{ C}$
- Impulsladung $Q_{\text{impuls}} = 100 \text{ C}$
- spezifische Blitzenergie $E_s = 10'000 \text{ kJ}/\Omega$
- mittlere Steilheit $di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Für die Bemessung / Positionierung der Fangeinrichtungen wurde bei der eno1xx das Blitzkugelverfahren und das Maschenverfahren angewandt. Entsprechend der Blitzschutzklasse I ergibt sich für das Blitzkugelverfahren ein Blitzkugeldurchmesser von 20 m. Für das Maschenverfahren ergibt sich eine Maschenweite von 5 x 5 m.

4 Berechnungsgrundlage

Das beschriebene Blitzschutzsystem dient vornehmlich dem Zweck, die Windturbine und zugehörige Anlagen vor Schäden durch Blitzschlag zu schützen. Personen ist der Aufenthalt in und um die Turbine bei gewittrigen Wetterlagen nicht gestattet. Aus diesem Grund wird der Personenschutz zwar im Blitzschutz- und Erdungskonzept berücksichtigt, jedoch nicht entsprechend erweiterter Anforderungen zum Personenschutz nachgewiesen.

Beim Blitzschutzsystem der eno1xx wird zwischen innerem und äußerem Blitzschutz unterschieden. Der äußere Blitzschutz schützt innenliegende Anlagenteile gegen direkten Blitzeinschlag. Hierzu ist die Turbine mit wirksamen Fangeinrichtungen zur forcierten Aufnahme des Blitzschlages und zur sicheren Ableitung des resultierenden Blitzstromes gegen Erde ausgestattet.

Der innere Blitzschutz hat die Aufgabe, gefährliche Überspannungen und Funkenbildung innerhalb der Anlage wirksam zu verhindern. Dem Überspannungsschutz an potenziell gefährdeten Anlagenteilen kommt hierbei zentrale Bedeutung zu. Zur Einschätzung der Gefährdung und Festlegung entsprechender Schutzmaßnahmen kommt hier das Blitzschutzkonzept zur Anwendung. Als Schutzmaßnahmen werden Überspannungsschutzeinrichtungen in Kombination mit Potenzialausgleichsmaßnahmen verwendet.

4.1 Wirksamkeit der Fangeinrichtung

Die eno1xx ist mit unterschiedlichen Fangeinrichtungen zum gezielten Einfangen von Blitzen ausgerüstet. Diese ermöglichen den Blitzfang, sowie die gesicherte Ableitung der Blitzenergie in die Erde über dafür vorgesehene Pfade. Sie werden damit den Anforderungen des äußeren Blitzschutzes gerecht.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit, der Fangeinrichtungen wurden hier das Blitzkugelverfahren und das Maschenverfahren eingesetzt. Beide Verfahren wurden auf das 3D-Modell der gesamten Turbine angewendet. Zur Abbildung der Enddurchschlagstecke entsprechend Blitzschutzzone I beträgt hierbei der Blitzkugeldurchmesser 20 m und die Maschenweite 5 x 5 m.

Entsprechend den Berührungspunkten der Blitzkugel oder Durchdringung bei Überschreitung der Maschenweite sind Fangeinrichtungen im Design vorgesehen. Diese Fangeinrichtungen sind dann niederimpedant und blitzstromtragfähig an das Erdungssystem (Fundamenterder) angebunden.

4.2 Blitzschutzzoneneinteilung

Die Einteilung in Blitzschutz-zonen (Lightning Protection Zones – LPZ) erfolgt aufgrund der Bedrohung durch einen direkten oder indirekten Blitzeinschlag bzw. durch die Felder, die durch die Blitzeinwirkung bei einem direkten Blitzeinschlag in Fangeinrichtungen auftreten.

Grundlage dieser Einteilung ist das Prinzip, Überspannungen stufenweise auf einen ungefährlichen Pegel zu reduzieren, und damit systematisch einen ausreichenden Schutz für alle Bauteile und Endgeräte sicherzustellen. Nach der Festlegung der Schutzklasse (vgl. Kapitel 3) ist die Gesamtanlage in Blitzschutz-zonen einzuteilen. Hieraus ergeben sich die Anforderungen hinsichtlich des

Überspannungsschutzes für die einzelnen Bereiche und Komponenten. Zur Übersicht werden Eigenschaften der zu Grunde gelegten Blitzschutzzonen kurz erläutert. Abbildung 4-1 und Tabelle 4-1 geben eine Übersicht zur Einteilung der Turbinenteile.

4.2.1 LPZ 0_A

LPZ 0_A bezeichnet eine Zone, die durch direkte Blitzeinschläge und das volle elektromagnetische Feld des Blitzes im Anlagenaußenbereich gefährdet ist. Komponenten in dieser Zone müssen in der Lage sein, einen direkten Blitzeinschlag mit Strömen entsprechend der gewählten Blitzschutzklasse und die zugehörigen, ungedämpften elektromagnetischen Felder zu beherrschen und den vollen Blitzstrom abzuleiten. Die inneren Systeme können dem vollen Blitzstrom ausgesetzt sein.

4.2.2 LPZ 0_B

LPZ 0_B ist eine Zone, die gegen direkte Blitzeinschläge geschützt, aber durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können anteiligen Blitzströmen ausgesetzt sein.

4.2.3 LPZ 1

LPZ 1 ist eine Zone, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch Überspannungsschutzeinrichtungen (Surge Protection Devices) an den Zonengrenzen begrenzt werden. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch räumliche Schirmung gedämpft sein.

4.2.4 LPZ 2...n

Dies sind Zonen, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch zusätzliche Überspannungsschutzeinrichtungen (Surge Protection Devices (SPD's) an den Zonengrenzen weiter begrenzt werden können. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch zusätzliche räumliche Schirmung weiter gedämpft sein.

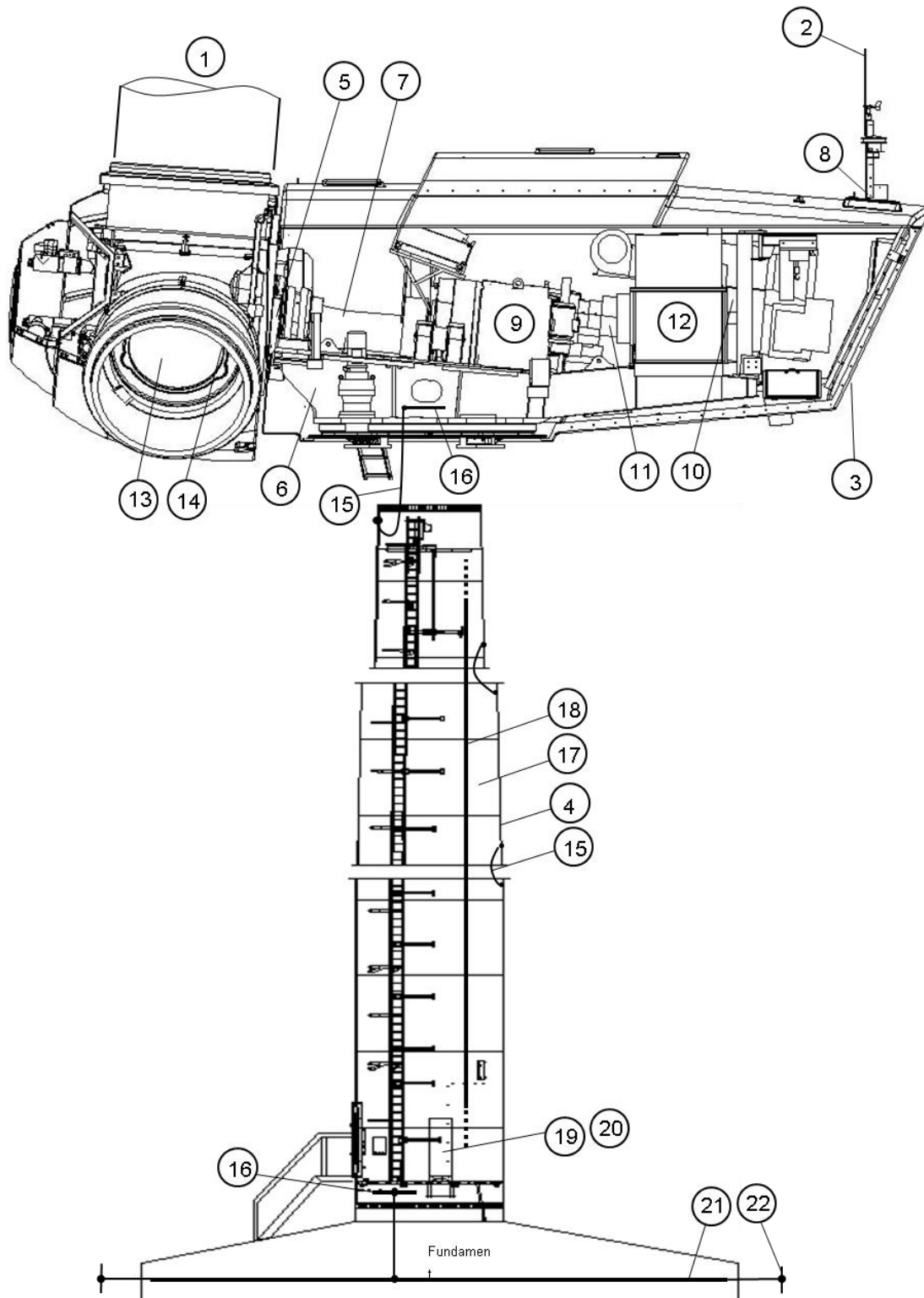


Abbildung 4-1: Einteilung der Turbinenanteile

Nr.	Objekt	Blitzschutzzone
1	Rotorblätter mit Rezeptoren	LPZ 0 _A
2	Wettermast (Messinstrumente, Flugbefehrerung, Sichtweitenmessung)	LPZ 0 _A
3	Maschinenhaus innen	LPZ 1
4	Stahlrohrturm (außen)	LPZ 0 _A
5	Blitzstromableitung über Schleifringe mit Kohlebürsten und Funkenstrecke	LPZ 0 _B
6	Maschinenträger	LPZ 0 _B
7	Rotorwelle	LPZ 0 _B
8	Geschirmte Sensorkabel	LPZ 1
9	Getriebe	LPZ 0 _B
10	Synchrongenerator, elektrisch erregt	LPZ 1
11	Kupplung	LPZ 1
12	Topbox	LPZ 2
13	Nabe	LPZ 0 _B
14	Nabenbox innen	LPZ 2
15	Potentialausgleichsbänder	LPZ 0 _B
16	Potentialausgleichsschiene	LPZ 0 _B
17	Stahlrohrturm (innen)	LPZ 1
18	Energiekabel im Turm	LPZ 1
19	Towerbox	LPZ 2
	Leitungen, in Rotorwelle verlegt	LPZ 1
20	Umrichter	LPZ 2
21	Fundamentringerder	LPZ 0 _B
22	Ringerder	LPZ 0 _B

Tabelle 4-1: Auflistung und Einordnung der Komponenten zu den einzelnen Blitzschutzonen

Die Überspannungsschutzeinrichtungen sind entsprechend der in aufgeführten Zonen und Zonengrenzen ausgeführt.

4.3 Komponenten des Blitzschutzsystems

Um Schäden bei einem unvermeidlichen Blitzeinschlag in die Anlage zu vermeiden oder Potentiale, die im normalen Betrieb der Anlage entstehen, auszugleichen, ist die WEA mit einem Blitzschutz- und Potentialausgleichssystem ausgerüstet. Dabei werden Blitze gezielt über entsprechende Rezeptoren in den Rotorblättern oder am Maschinenhaus eingefangen und durch eine definierte Strecke ins Fundament zu den Erden abgeleitet. Die Ableitstrecke über an der Blitzstromführung beteiligte Komponenten wird im Folgenden kurz erläutert.

4.3.1 Rotorblatt – Nabe

Die Rotorblätter sind die für Blitzeinschläge prädestinierten Komponenten. Im Folgenden wird aufgrund ihres Aufbaus zwischen Blättern der eno114, eno126, eno136 und eno140 unterschieden.

Die sensiblen Bauteile des Pitchsystems innerhalb der Rotornabe sind in metallischen, EMV-isolierten und geerdeten Schaltschränken untergebracht. Diese bilden ein Faradayschen Käfig aus, in dem ein gegenüber außen geschwächtes elektromagnetisches Feld vorherrscht. Somit ist das Einkoppeln von Störgrößen in dieser Zone reduziert. Alle aus den Schaltschränken herausgeführten Kabel sind doppelt geschirmt. Durch den äußeren Kabelschirm wird somit die, durch die Schaltschränke gebildete, Blitzschutzzone um die Kabel herum erweitert.

4.3.1.a Rotorblatt der eno114

Die Rotorblätter der eno114 sind aus Materialien gefertigt, die einen Blitz nicht ableiten können. Daher sind sie mit einem speziellen Blitzschutzsystem ausgestattet. Dieses besteht aus einem metallischen Rezeptor an der Blattspitze und jeweils drei weiteren Rezeptoren auf der Saug- und Druckseite des Blattes. Alle Rezeptoren sind niederohmig miteinander verbunden. Diese Verbindung erfolgt über ein einlamiertes, blitzstromtragfähiges Aluminiumkabel. Das Kabel endet an der Blattwurzel an dem Schleifringssystem, bestehend aus Kohlebürstenbrücke mit integrierten Blitzfingern und Schleifring in der Nabe. Über die Kohlebürsten erfolgt die Weiterleitung von Blitzstrom auf den Schleifring der Nabe. Weiterhin dienen die Kohlbürsten dem Ausgleich von Potenzialunterschieden. Hierdurch wird eine Führung des Blitzstromes über die Blattlager vermieden.

4.3.1.b Rotorblatt der eno126 und der eno136

Die Konstruktion der Rotorblätter EB 61.6 für die Windenergieanlage eno126 sowie EB 66.8 für die Windenergieanlage eno136 beinhaltet sowohl nichtleitende Werkstoffe (Glasfaserverbundwerkstoffe) als auch leitende Werkstoffe (Kohlefasergurt). Dies bedingt ein spezielles Konzept der Blitzschutz-, Blitzstromableit- und Potentialsteuerungsanlage.

Zur Abschirmung der leitfähigen Werkstoffe und Bauteile gegen direkte Blitzeinschläge beinhaltet das Blitzschutzkonzept ein Kupferdrahtgeflecht (Kupfergewebe/ Kupfermesh) in der Außenhaut des Rotorblattes auf Saug- und Druckseite. Dieser bedeckt die gesamte Fläche der leitenden Werkstoffe und Bauteile, sodass ein direkter Blitzeinschlag in diese Elemente des Rotorblattes ausgeschlossen ist.

Zur Potentialsteuerung und Potentialausgleich bzw. zur magnetischen Abschirmung dienen definierte, leitfähige Verbindungspunkte zwischen den Kohlefasergurten und dem Kupferdrahtgeflecht, sodass die Ableitung des Blitzstromes ausschließlich über das Kupferdrahtgeflecht erfolgt.

Folglich dienen die Kupfergewebeklebebahnen auf Saug- und Druckseite gleichzeitig als blitzstromtragfähige Ableiteinrichtungen. Diese sind derartig dimensioniert, dass Saug- bzw. Druckseite des Rotorblattes unabhängig voneinander den vollen Blitzstrom tragen können. Die Ableiteinrichtung ist damit redundant konzipiert.

Des Weiteren dienen die Kupferdrahtgeflechte als Fangeinrichtung und wurden als Sekundärrezeptor definiert.

Als Hauptrezeptor dient eine metallische Blattspitze, die an das nachgelagerte Kupfermesh niederohmig angebunden ist.

Das Kupfergewebe endet in Kontaktplatten aus Kupferblech in der Blattwurzel, welche über in das Blatt einlamierte Metallbänder leitfähig und niederohmig an ein Schleifringssystem angebunden ist. Das Schleifringssystem leitet den Blitzstrom in den Nabenkörper ab.

4.3.1.c Rotorblatt der eno140

Die Rotorblätter LM 69.0 P für die Windenergieanlage eno140 sind aus Materialien gefertigt, die einen Blitz nicht ableiten können. Daher sind sie mit einem speziellen Blitzschutzsystem ausgestattet. Dieses besteht aus zwei metallischen Rezeptoren an der Blattspitze, je einer auf der Saug- und Druckseite. Die Rezeptoren sind niederohmig miteinander verbunden. Diese Verbindung erfolgt über ein einlaminierendes, blitzstromtragfähiges Kabel. Das Kabel endet auf einem metallenen Ring an der Blattwurzel. Der Blitzstrom wird dann weiter auf den Nabenkörper geführt.

4.3.2 Nabe – Maschinenträger

Die Ableitung des Blitzstromes von der Nabe auf den Maschinenträger erfolgt über alternative, redundante Strompfade parallel zum Rotorhauptlager. Sie sind ausgeführt als Kombination aus Funkenstrecke und blitzstromtragfähigen Kohlebürsten. Somit wird der Anteil des Blitzstroms, der über das Lager fließt, auf ein unschädliches Maß reduziert.

4.3.3 Maschinenträger – Turm

Vom Maschinenträger aus erfolgt die Ableitung des Blitzstromes in den Turm. Die Ableitung erfolgt über zwei 240 mm² Kabel von der Maschinenträgererdung direkt auf den Turm. Durch die zum Azimutlager parallele Stromführung über Kabel ist eine ausreichende Reduktion des Blitzstromes durch das Azimutlager gewährleistet.

4.3.4 Maschinenhaus – Maschinenträger

Die Maschinenhausverkleidung ist mit entsprechenden Blitz-Fangeinrichtungen ausgestattet. Die so genannte Wetterstation mit ihren Windmesseinrichtungen, der Flugbefeuerung und der Sichtweitenmessung ist mit einer Fangeinrichtung aus Stabmaterial mit einem Durchmesser von 10 mm versehen. Um einen umfassenden Schutz sicherzustellen und einen direkten Blitzeinschlag in das Maschinenhaus weitestgehend auszuschließen, sind im hinteren Bereich der Verkleidung zusätzliche Stahlelemente vorgesehen. Alle weiteren metallischen Elemente ohne direkten, leitenden Kontakt zum Potentialausgleich der Anlage sind über elastische Erdungsbänder mit dem Maschinenträger verbunden.

4.3.5 Turmkopf – Turmfuß

Im Turm erfolgt die Ableitung durch die Turmwand. Die Flanschverbindungen werden durch Potentialausgleichsbänder leitend miteinander verbunden, um den Blitzstrom niederimpedant weiterzuleiten.

4.3.6 Turmfuß – Fundament

Angekommen im Turmfuß, erfolgt die Übertragung der Blitzenergie in das Fundament über vier, um 90° versetzte Anschlussfahnen, welche leitend mit der Bewehrung des Fundamentes und dem Fundamenterder verbunden sind. Der Fundamenterder wird als Ring in das Fundament der Windenergieanlage eingebracht. Er hat den Vorteil, dass er bei ausreichender Überdeckung mit Beton gegen Korrosion geschützt ist und so der Ausbreitungswiderstand über lange Zeit konstant bleibt.

Der Fundamenterder ist weiterhin mit einem zusätzlichen Ringerder verbunden. Er ist in Form von 2-3 geschlossenen Ringen um das Fundament gelegt.

An vier um 90° versetzten Stellen sind sie an aus dem Beton herausgeführten Anschlussfahnen mit dem Fundamenterder befestigt. Die Ringe sind untereinander durch Querverbinder verbunden.

4.3.7 Fundament – Trafostation

Um die Transformatorstation ist ein Steuererder als geschlossener Ring vorgesehen. Dieser ist mit dem Potentialausgleich der Station sowie mit der Erdung der Windenergieanlage verbunden, um eine möglichst großflächige Erdungsanlage zu erhalten.

Nach dem Bau des Fundamentes muss der Erdungswiderstand gemessen werden. Der Erdungswiderstand muss dabei kleiner als 2 Ohm sein. Wird dieser Grenzwert nicht erreicht, müssen entsprechende Maßnahmen in Form von zusätzlichen Tiefenerdern oder ähnlichem ergriffen werden, um den Widerstand zu verringern.

4.4 Überspannungsschutz und Potenzialausgleich

Eine weitere bedeutende Aufgabe kommt dem Schutz des elektrischen Systems bzw. der Regel- und Steuereinrichtungen zu, da die hier verwendeten Komponenten empfindlich auf Überspannungen

reagieren können. Durch die räumliche Schirmung in metallenen Schaltschränken können die durch Blitzeinschläge hervorgerufenen magnetischen Felder und damit auch die induzierten Spannungen und Ströme minimiert werden. Die Signaleingänge der Steuerung aus sensiblen Bereichen der LPZ 0_B werden mit Überspannungsschutzgeräten im Schaltschrank geschützt.

Sensible elektrische Bauteile und Datenkabel sind mit einer entsprechenden Schirmung ausgeführt, um diese vor induktiven und kapazitiven Einkopplungen durch den hohen und breitbandigen Blitzstrom zu schützen. Die Schirmung wird an den Steuerschränken ausgeführt. Dadurch wird die LPZ des Steuerschranks nach außen durch die Leitung erweitert. Für den Potentialausgleich der Komponenten, die nicht durch die Montagesituation metallisch mit dem Grundrahmen verbunden sind, wie z.B. das Getriebe und der Generator, sind entsprechende Erdungsbänder vorgesehen, welche mit dem Maschinenträger leitend verbunden sind.

Die Nabenbox, Topbox, der Steuerschrank im Turmfuß und die Leistungsumrichter besitzen im Versorgungsbereich einen Überspannungsschutz für leitungsgebundene Überspannung.