

# Blitzschutz- und Erdungssystem

## Siemens Gamesa 5.X

Dokumenten-ID / Revision	Status	Datum (yyyy-mm-dd)	Sprache
D2100741/005	Freigegeben	2022-09-19	DE

Original oder Übersetzung von
Übersetzung von D2047461

Dateiname
D2100741_005-SGRE ON Siemens Gamesa 5.X Blitzschutz- und Erdungssystem.docx

Änderungsübersicht (Revision / Änderungsbeschreibung)	
001	Erste Version. Übersetzung der englischen Version.
002	Neue Revision. Komplette Aktualisierung des Dokuments.
003	Neue Revision. Vorläufig entfällt.
004	Neue Revision. Allgemeines Update.
005	Neues Dokumentenformat. Komplette Aktualisierung des Dokuments.

### Haftungsausschluss und Verwendungsbeschränkung

Soweit gesetzlich zulässig, übernehmen die Siemens Gamesa Renewable Energy A/S sowie sonstige verbundene Unternehmen der Siemens Gamesa Gruppe, einschließlich der Siemens Gamesa Renewable Energy S.A. und deren Tochterunternehmen, (nachfolgend „SGRE“) keinerlei Gewährleistung, weder ausdrücklich noch implizit, im Hinblick auf die Verwendung bzw. Verwendungsstauglichkeit dieses Dokuments oder von Teilen hiervon für andere Zwecke als dem bestimmungsmäßigen Gebrauch. In keinem Fall haftet SGRE für Schäden, einschließlich aller direkten, indirekten oder Folgeschäden, die sich aus dem Gebrauch bzw. der Gebrauchsuntauglichkeit dieses Dokuments sowie allen Begleitmaterials oder der in diesem Dokument enthaltenen oder hiervon abgeleiteten Angaben oder Informationen ergeben. Soweit dieses Dokument oder andere Begleitmaterialien Bestandteile eines Vertrages mit SGRE werden, richtet sich die Haftung von SGRE nach den Bestimmungen dieses Vertrages. Dieses Dokument wurde vor seiner Veröffentlichung einer umfassenden technischen Überprüfung unterzogen. Ferner überprüft SGRE das Dokument in regelmäßigen Abständen, wobei sachdienliche Anpassungen in nachfolgenden Auflagen aufgenommen werden. Dieses Dokument ist und verbleibt geistiges Eigentum von SGRE. SGRE behält sich das Recht vor, das Dokument auch ohne vorherige Anzeige von Zeit zu Zeit anzupassen.

## Inhalt

1. Anwendungsbereich .....	3
2. Abkürzungen.....	3
3. Blitzschutzsystem .....	4
3.1. Designgrundlage.....	5
3.2. Rotorblatt zur Nabe .....	6
3.3. Nabe zum Maschinenträger .....	7
3.4. Maschinenträger zum Turm.....	8
3.5. Turm .....	9
3.6. Elektrisches System .....	9
3.7. Außerhalb der Anlage platzierte Geräte und Kabel.....	10
4. Erdungsanschluss-System für LPS .....	10
4.1. Allgemein .....	10
4.2. Anforderungen an das Erdungssystem .....	10
4.2.1. Installation des Haupterdungsanschlusses (MET).....	10
5. Fundament mit internem Transformator .....	11
5.1. Erdungsanschlüsse an den Ankerring.....	11
5.2. Erdung mit Haupterdungsanschluss (MET) .....	13
5.3. Gegossenes Fundament - Erdungsanschlüsse für innere und äußere Ringelektrode .....	14
5.4. Gegossenes Fundament - innere und äußere Ringelektrode .....	14
6. Verbindung zwischen den elektrischen Systemen und dem Blitzschutzsystem .....	15
7. Bewertung des Erdungssystems .....	15
7.1. Blitzschutz.....	15
7.2. Zulässige Schritt- und Berührungsspannung .....	15
8. Vorentwurf.....	16
9. Anhang – Beispiel-Checkliste für WEA mit internem Transformator.....	17

## 1. Anwendungsbereich

Diese Spezifikation gilt für Fundamente, die für Onshore-WEA von Siemens Gamesa, folgend SGRE, verwendet werden soll. Dieses Dokument spiegelt die minimalen Konstruktionsanforderungen an ein Erdungskonzept in einem Fundament wider, das für eine SGRE-WEA vorgesehen ist, so dass das Fundament so konstruiert wird, dass bestimmte Blitze keine Schäden an der WEA und ihren installierten Komponenten verursachen können. In diesem Dokument liefert SGRE eine mechanische und technische Beschreibung der Mindestanforderungen an SGRE-Windenergieanlagenfundamente.

## 2. Abkürzungen

Abkürzung	Definition
SGRE	Siemens Gamesa Renewable Energy
WEA	Windenergieanlage
IEC	International Electrotechnical Commission
TN-S	Separater Neutralleiter ( <b>T</b> erre(earth) <b>N</b> eutral <b>S</b> eparate)
MET	Haupterdungsanschlusspunkt ( <b>M</b> ain <b>E</b> arth <b>T</b> erminal)
EN	European Standard
DIN	Deutsches Institut für Normung
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
LPS	Blitzschutzsystem ( <b>L</b> ighting <b>P</b> rotection <b>S</b> ystem)
PE	Schutzleiter ( <b>P</b> rotective <b>E</b> arth)
USV	Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung

### 3. Blitzschutzsystem

Das Blitzschutzsystem der Siemens Gamesa 5.X WEA und die Anordnung der Komponenten, die für den Blitzschutz verwendet werden, ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

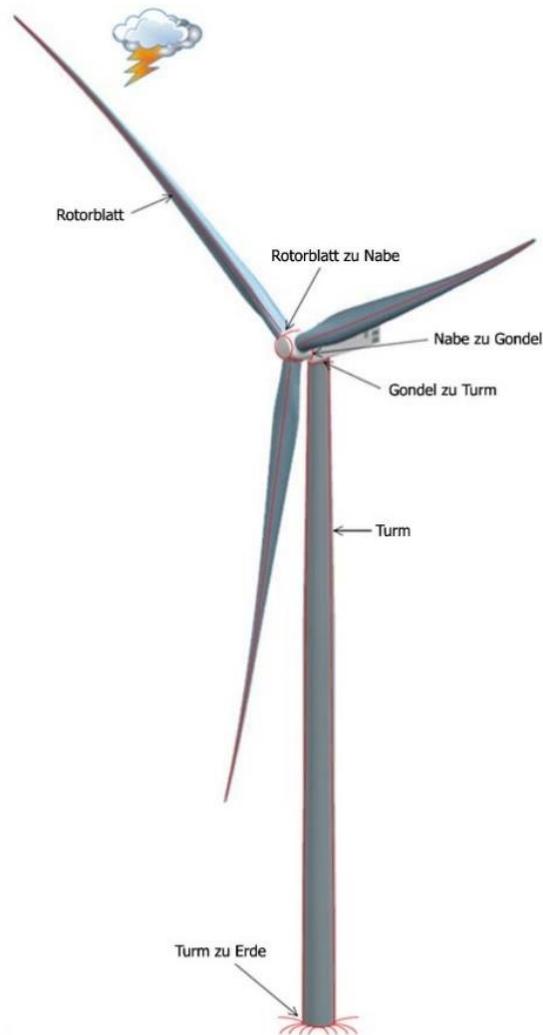


Abbildung 1 Übersichtszeichnung des Blitzschutzsystems

### 3.1. Designgrundlage

Die Auslegung des Blitzschutzsystems (siehe Abbildung 2) richtet sich nach der Norm **IEC 61400-24:2019** „Windenergieanlagen - Teil 24 Blitzschutz“ sowie nach der Bautechnik-Norm **IEC 62305-1:2010** „Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsätze“, Blitzschutzklasse I.

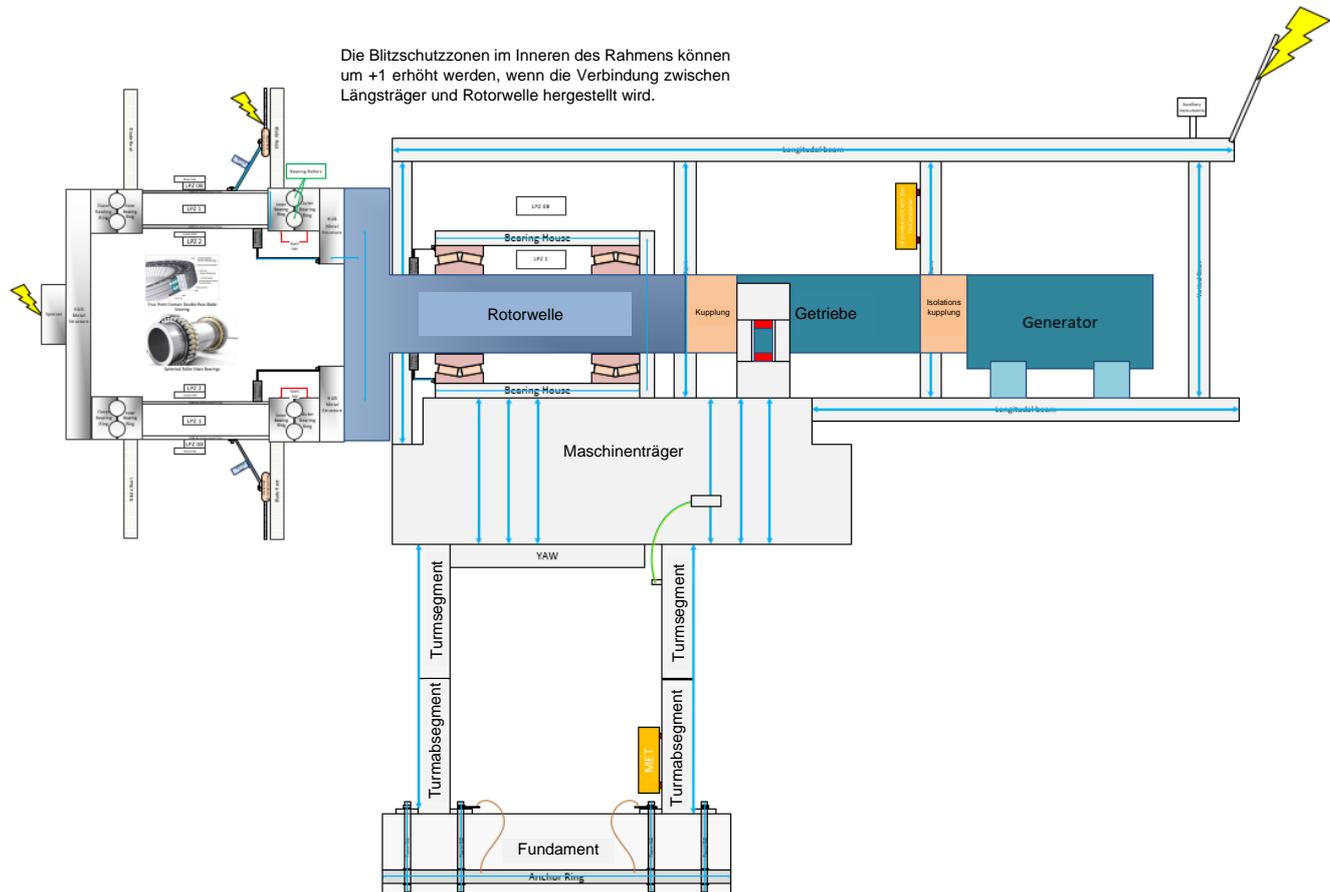


Abbildung 2 LPS-Übersichtszeichnung

### 3.2. Rotorblatt zur Nabe

Das Blitzschutzsystem in den Rotorblättern besteht aus 5 Rezeptorpaaren im äußeren Bereich des Blattes, um Blitzeinschläge aufzufangen. Die Blitzrezeptoren bestehen aus rostfreiem Stahl und sind mit einem innenliegenden, hochspannungsisolierten Kupferkabel verbunden. An der Spitze des Kohlefasersteges ist das Kabel mit 4 geflochtenen Kupferleitern verbunden, die an mehreren Stellen mit den Kohlefasergurten verbunden sind und entlang der Kohlefaserstege von der Blattspitze bis zur Blattwurzel verlaufen. An der Blattwurzel sind diese geflochtenen Leiter wiederum mit Kupferleitern verbunden und mit dem Blattwurzelflansch mit weiteren Komponenten der WEA verbunden.



Abbildung 3 Blattspitzenrezeptor

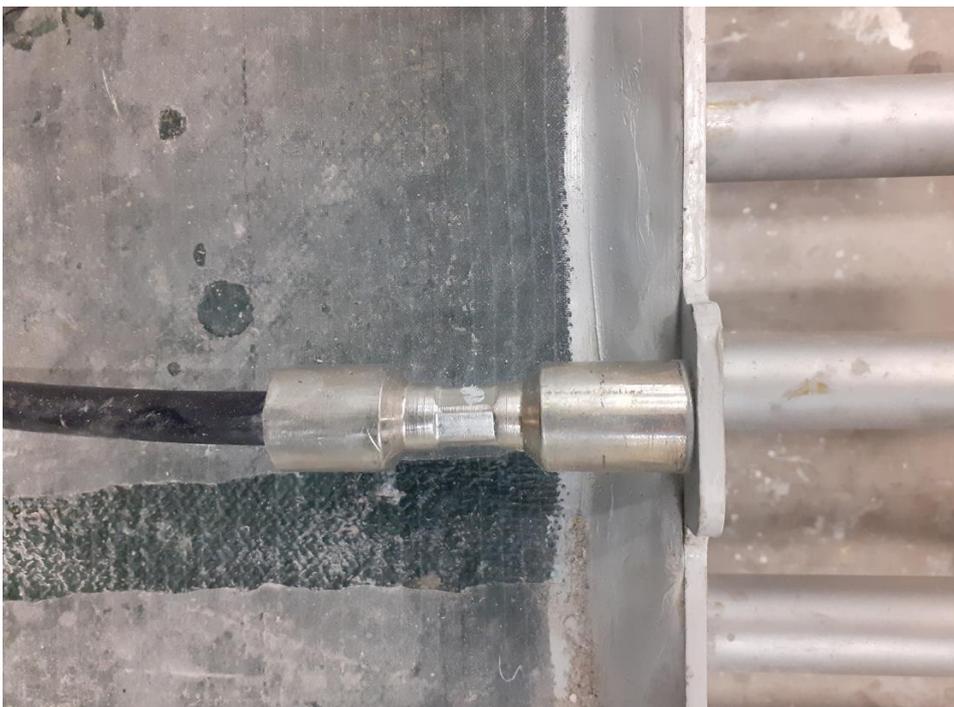


Abbildung 4 Blattwurzelflanschverbindung

## 3.3. Nabe zum Maschinenträger

Der vorgesehene Pfad für den Blitzstrom durch das SG5X Windnachführungssystem ist:

1. Nabe → Rotorwelle, durch eine Schraubverbindung, Metall-auf-Metall-Verbindung.
2. Rotorwelle → Hauptlagergehäuse, durch Kohlebürsten, siehe Abbildung.

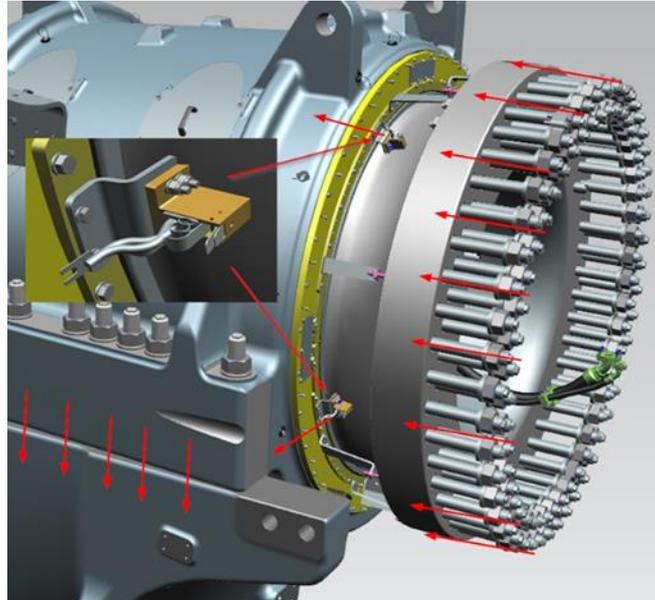


Abbildung 5 Nabe auf Maschinenträger Strompfad

3. Hauptlagergehäuse → Maschinenträger, durch eine Metall-auf-Metall-Schraubverbindung.
4. Maschinenträger → Halteklauen des Windnachführungslagers, Maschinenträger und dem außen verzahntem Drehkranz sind durch Axialpads getrennt, die einen 10 mm großen Luftspalt zwischen dem Maschinenträger und dem Drehkranz bilden.

### 3.4. Maschinenträger zum Turm

Ein möglicher Strompfad während eines Blitzschlags führt über einen Luftspalt zwischen Maschinenträger und dem Windnachführungssystem und/oder zwischen den Zahnradern des Windnachführungsantriebes und dem Windnachführungsdrehkranz, der am Flansch des oberen Turmsegmentes montiert ist. Unter Berücksichtigung der Anzahl der installierten Windnachführungsantriebe in dieser Konstruktion wird davon ausgegangen, dass mindestens ein Windnachführungsantriebsritzel in vollem Kontakt mit dem außen verzahnten Drehkranz steht, da durch diesen Kontakt eine Metall-auf-Metall-Verbindung entsteht.

Da auch bei dieser Konstruktion mehrere natürliche Luftspalten im Bereich von 5 bis 10 mm vorhanden sind und es für einen Blitzstrom kein Problem darstellt, diese Distanz zu überwinden, werden diese Luftspalten ebenfalls als mögliche Wege für den Blitzstrom betrachtet.

Ein Blitzstromdurchgang in einem der vorgenannten Pfade erfolgt wahrscheinlich ohne nennenswerte Schäden an den im definierten Pfad installierten Komponenten.

Der Turm fungiert als natürliches Bindeglied, das eine leitende Verbindung zwischen der Gondel und der Erde herstellt. Das Erdungssystem der WEA muss an ein vollständiges Erdungssystem angeschlossen werden, das vom Auftraggeber bereitgestellt wird.

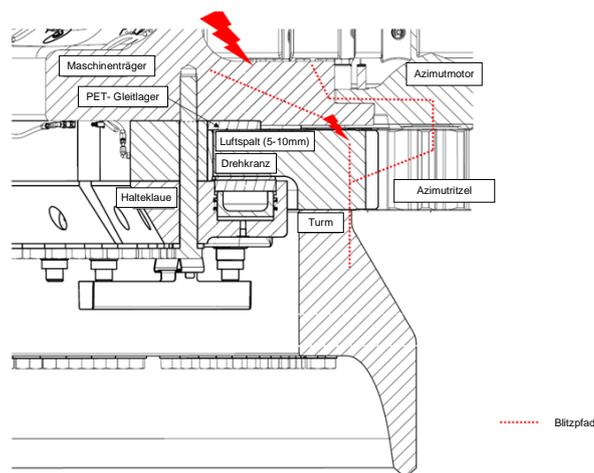


Abbildung 6 Blitzstrompfad durch das Windnachführungssystem

### 3.5. Turm

Der Turm fungiert als Neutralleiter, der eine leitende Verbindung zwischen Gondel und der Erde herstellt. Das Erdungssystem der WEA muss an ein vollständiges Erdungssystem angeschlossen werden, das vom Auftraggeber bereitgestellt wird.

Nach der IEC 61400-24 wird der Stahlrohrturm als primärer Erdungsleiter und Potentialausgleichsverbinding betrachtet. Das bedeutet, dass der Stahlrohrturm die Hauptableitung für Blitz- und Fehlerströme darstellt.

Der Turm wird aus verschiedenen Sektionen mit Hilfe von Schraubverbindungen an den Verbindungsflanschen zusammengebaut. Diese Schraubverbindungen gewährleisten einen guten elektrischen Kontakt zwischen den verschraubten Flächen. Zusätzlich wird die elektrische Leitfähigkeit der Kontaktflächen zwischen den Turmflanschen durch thermische Spritzmetallisierung (TSM) verbessert, die das Standardverfahren von SGRE für die Beschichtung von Turmflanschen ist.

Eine detaillierte Beschreibung des TSM-Verfahrens für Turmflansche wird im Dokument GPS16110 (Kapitel: „L or T-flanges and tower top flange. With TSM process“) beschrieben.

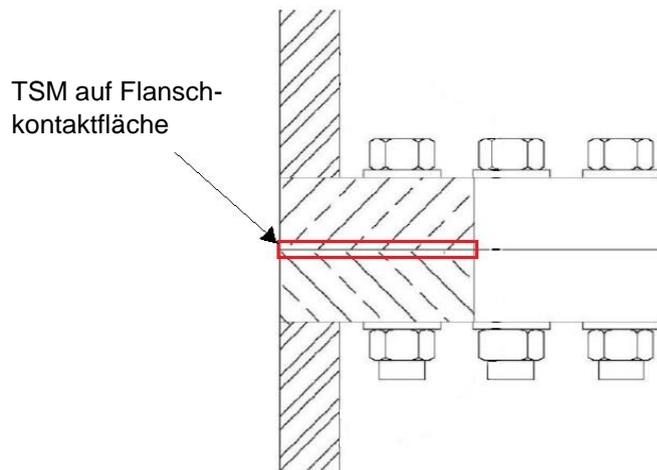


Abbildung 7 TSM auf Flanschkontaktflächen zur Verbindung von Turmsektionen

### 3.6. Elektrisches System

Überspannungsableiter in der Hauptversorgung und den Signalleitungen über Glasfaserkabel bieten Schutz vor den Auswirkungen von nahegelegenen Blitzeinschlägen. Die Stromversorgung des Steuerungssystems basiert auf einer USV, die eine saubere elektrische Versorgung für alle Computer und die Elektronik gewährleistet. Die faradayschen Käfige der Nabe, der Gondel und des Turms sorgen für eine Dämpfung der Magnetfeldkopplung aller energiehaltigen Komponenten im Inneren, d. h. der Schmiersysteme, der elektrischen und hydraulischen Systeme. Die Signalverkabelung ist geschirmt, Signal- und Stromkabel sind getrennt, und alle Schaltschränke/Anschlusskästen sind aus Metall und mit einer speziellen Verkabelung eingebunden.

SGRE empfiehlt, dass alle Kabel, die die WEA verlassen oder in sie eintreten, metallgekapselt verlegt werden. Wenn Metallkanäle verwendet werden, müssen diese mindestens aus einer Metallverbindung bestehen und mit der Fundamentbewehrung am Ein- und Austritt in das Fundament verbunden sein.

### 3.7. Außerhalb der Anlage platzierte Geräte und Kabel

Ausrüstungen, die außerhalb der WEA aufgestellt sind, z. B. ein außerhalb des Turms aufgestellter Transformator, muss in geeigneter Weise geerdet und an das Erdungssystem der WEA angeschlossen sein. Darüber hinaus müssen Kabel, die in die Windturbine hinein- oder aus ihr herausgeführt werden, entweder mit einer EMV-gerechten Metallkapselung abgeschirmt oder tief genug im Boden/Fundament verlegt werden, so dass die Kabel unter der Bewehrung des Erdungssystems verlaufen.

## 4. Erdungsanschluss-System für LPS

### 4.1. Allgemein

SGRE WEA sind mit einem Potenzialausgleichs- und Ableitungssystem gemäß **IEC 62305:2010** und **IEC 61400-24:2019** ausgestattet. Dieses System muss an das (auftraggeberseitige) Erdungssystem im Fundament angeschlossen werden.

Die von SGRE verwendete Lösung für die Flachgründung mit doppelten Elektrodenringen basiert auf **IEC 61400-24:2010 (Anhang I - Erdungsanlage)**, in der die mögliche Anordnung der Elektroden beschrieben wird (ebenfalls in dieser Norm definiert).

### 4.2. Anforderungen an das Erdungssystem

Die generelle Auslegung des Erdungssystems soll in Einklang mit den Anforderungen der **IEC 62305-3:2010 „Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen“** sein.

Der Stahlrohrturm fungiert als Hauptverbindungs- und Ableitungssystem ("natürliche Ableitung" gemäß **IEC 62305-3:2010**, (Kapitel 5.3.5) der WEA.

Das Erdungssystem der WEA-Fundamente besteht aus verschiedenen Komponenten, z. B. Betonbewehrung, Ringerdern, Edelstahlauslässen, Ankerring und Verbindungsklemmen. Die elektrische Verbindung zwischen Turm und Erdungssystem erfolgt über die Fundamentbolzen, welche elektrisch mit dem Turm verbunden sind, um Erdschluss- und Blitzströme zur Erde abzuleiten. Zum Anschließen der elektrischen Ausrüstung, beispielsweise des Umrichters, an das Ableitungssystem ist der Turm mit Erdungsanschlüssen und dem MET ausgerüstet.

#### 4.2.1. Installation des Haupterdungsanschlusses (MET)

Der MET wird mit Isolatoren an der Turmwandung befestigt.

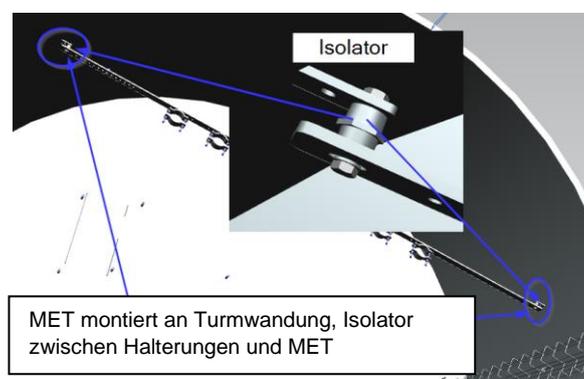


Abbildung 8 Main Earth Terminal / MET Installation.

## 5. Fundament mit internem Transformator

Von den unten aufgeführten Beispielen für Fundamenterdungslösungen empfiehlt SGRE die **für gegossene Fundamente** als bevorzugte Wahl. **Erdungsanschlüsse an dem unten beschriebenen Ankerring** sind zwingende Voraussetzung für alle Fundamentkonstruktionen.

### 5.1. Erdungsanschlüsse an den Ankerring

Um die Einhaltung der IEC-Normen zu gewährleisten, muss zwischen dem Ankerring und der Fundamentbewehrung eine mindestens  $1 \times 50 \text{ mm}^2$  Kupfer-Rohkabelverbindung hergestellt werden, siehe Abbildung 9 und Abbildung 10.

- Z.B. aus  $1 \times 50 \text{ mm}^2$  Rohkupferkabel (1), das zwischen dem Ankerring (2) und der Fundamentbewehrung (3) angeschlossen wird



Abbildung 9 Ankerring an Fundamentbewehrung



Abbildung 10 Ankerring an Fundamentbewehrung

- Um die Einhaltung der IEC-Normen zu gewährleisten, muss zwischen dem Ankerring und der Haupterdungsanschlusspunkt (MET) eine Verbindung von mindestens  $1 \times 50 \text{ mm}^2$  Rohkupferkabel hergestellt werden. Dieses Kabel ist die Schutzerdungsverbindung (PE) des Erdungssystems.

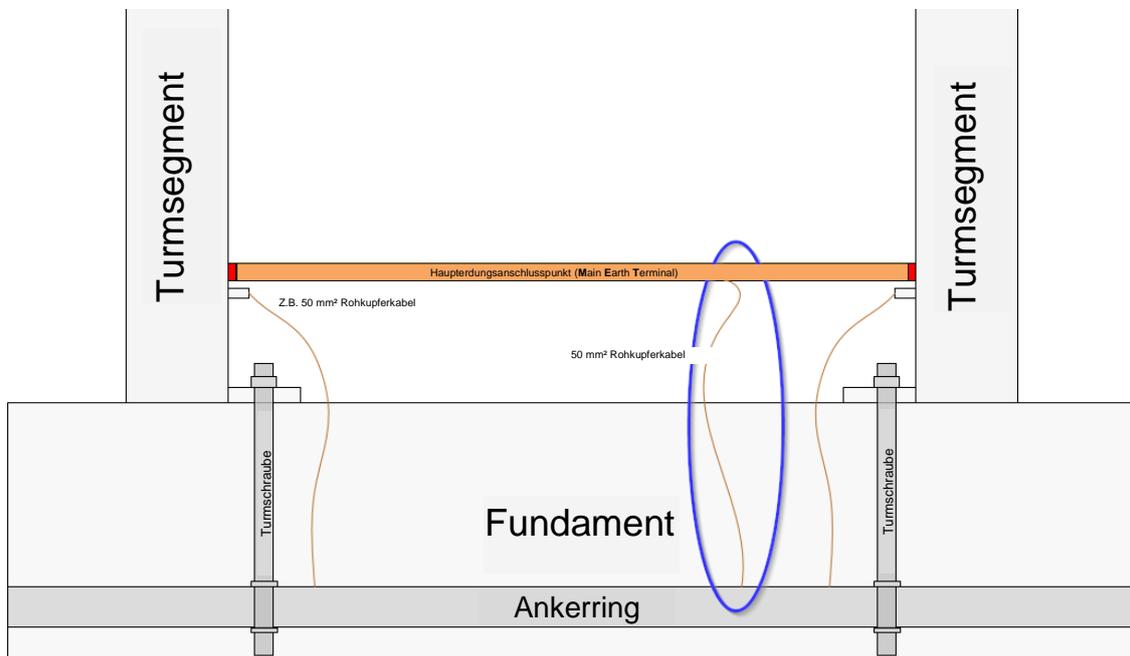


Abbildung 11 Kabelverbindung zwischen Ankerring und MET

Um die Einhaltung der IEC-Normen zu gewährleisten, müssen mindestens  $2 \times 50 \text{ mm}^2$  Verbindungen in einem leitfähigen Material zwischen dem Ankerring und den Anschlusspunkten an der Turmwandung hergestellt werden. Diese Kabel sind ein Teil des Pfades für den Blitzstrom zum Erdungssystem.

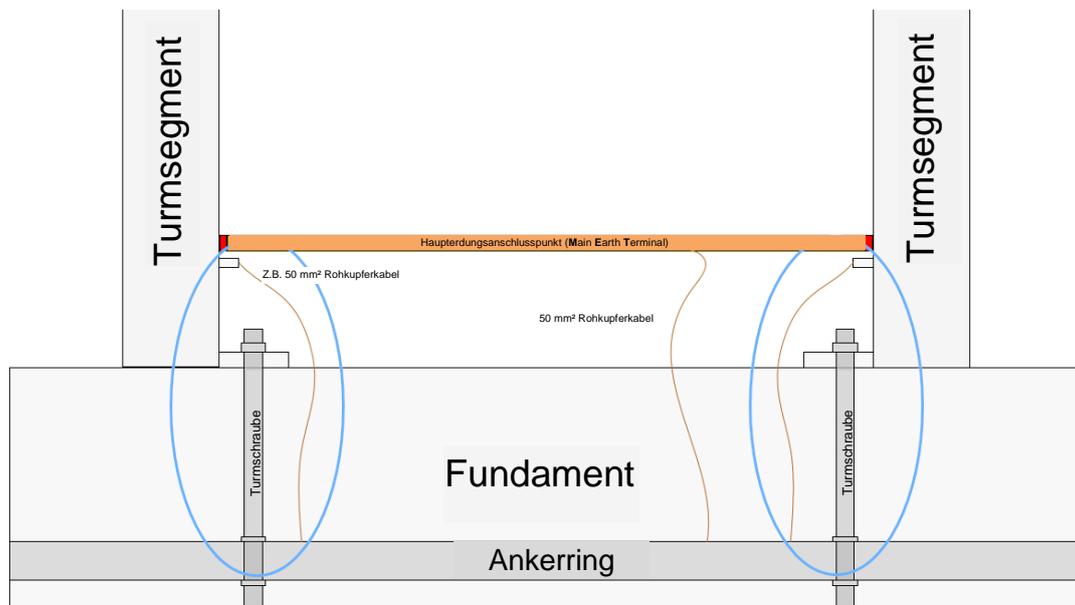


Abbildung 12 Verbindungen zwischen Ankerring und Turmanschlusslaschen

## 5.2. Erdung mit Haupterdungsanschluss (MET)

Die folgende Abbildung 13 ist ein **Beispiel** für ein Fundamentdesign einer WEA, bei dem der MS-Transformator auf einer Plattform im Turm oder in der Gondel installiert ist.

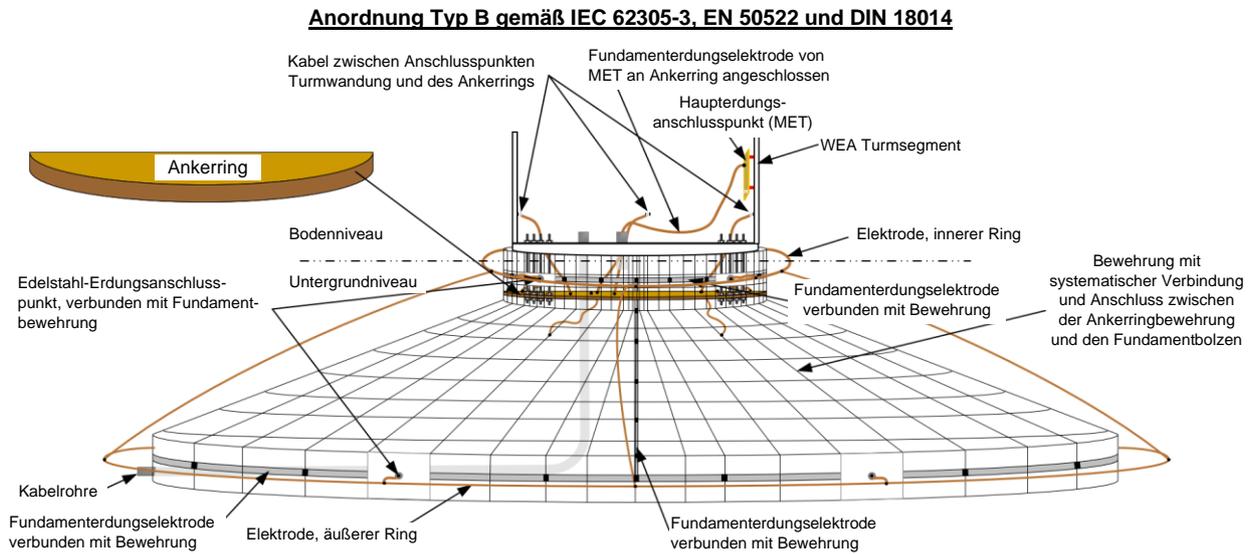


Abbildung 13 Prinzipskizze des SGRE Erdungssystems

### 5.3. Gegossenes Fundament - Erdungsanschlüsse für innere und äußere Ringelektrode

Die folgende Abbildung 14 ist ein **Beispiel** für ein gegossenes Fundament einer WEA, bei dem der MS-Transformator auf einer Plattform im Turm oder in der Gondel installiert ist. Erdungspunkte aus rostfreiem Stahl, die mit dem Erdungselektrodensystem<sup>1</sup> des Fundaments verbunden sind.

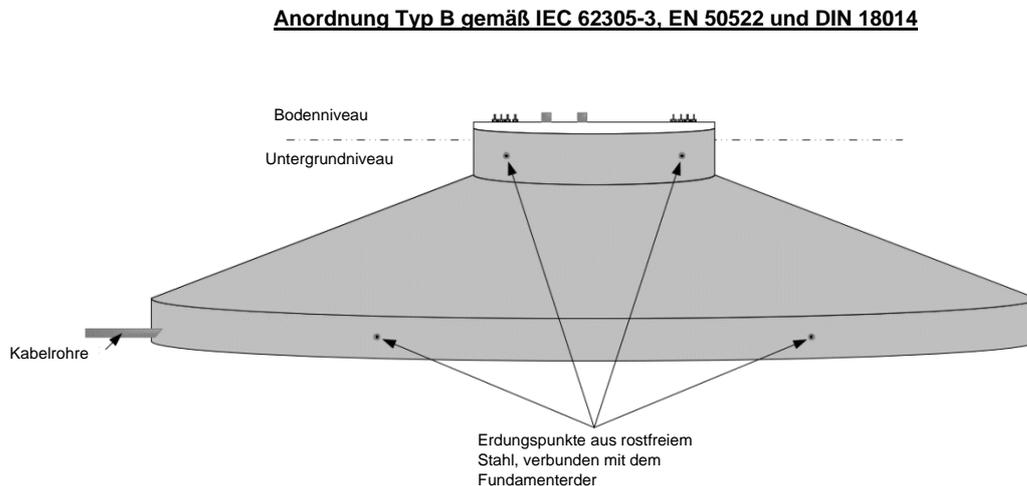


Abbildung 14 Prinzipskizze eines gegossenen Fundamentes mit Erdungspunkten aus Edelstahl.

### 5.4. Gegossenes Fundament - innere und äußere Ringelektrode

Die nachstehende Abbildung 15 ist ein Beispiel für ein gegossenes Fundament einer WEA, bei dem der MS-Transformator auf einer Plattform im Turm oder in der Gondel installiert ist. Die innere und äußere Ringelektrode ist mit den Erdungspunkten<sup>2</sup> aus rostfreiem Stahl im gegossenen Fundament verbunden.

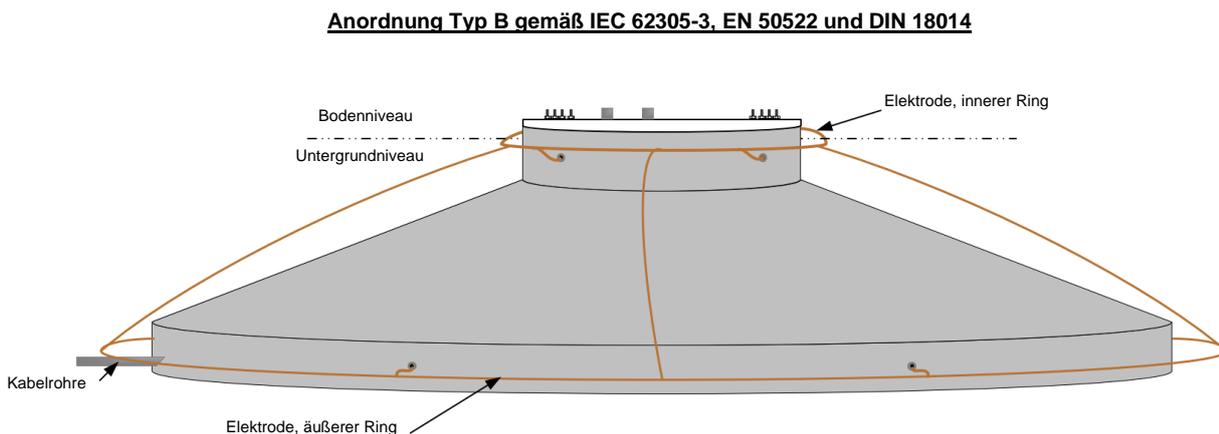


Abbildung 15 Prinzipskizze eines gegossenen Fundamentes mit äußerer und innerer Ringelektrode.

<sup>1</sup> Abbildung 14 Prinzipskizze des Erdungssystems von Siemens Gamesa.

<sup>2</sup> Abbildung 15 Prinzipskizze eines gegossenen Fundamentes.

## 6. Verbindung zwischen den elektrischen Systemen und dem Blitzschutzsystem

Das Sternpunktterdungssystem der Transformator-Niederspannungsverkabelung ist über einen PE-Leiter, der mit den PE-Anschlüssen oder dem Haupterdungsanschlusspunkt (MET) im Turm verbunden werden muss, an das Erdungssystem der WEA anzuschließen.

Das Erdungssystem im Niederspannungssystem der SGRE-WEA ist gemäß IEC 60364-1 ED 5.0:2005 als TN-S-System mit getrenntem Erdungs- und Neutralleiter im gesamten System ausgelegt.

Der Querschnitt des PE-Schutzleiters muss in Übereinstimmung mit der **IEC 60364-5-54:2011 „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter“** sein und, falls zutreffend, sind alle örtlichen spezifischen zusätzlichen Anforderungen zu beachten und ebenfalls vollständig zu erfüllen.



Unabhängig von anderen Anforderungen fordert Siemens Gamesa einen Querschnitt des Schutzleiters von mindestens dem halben Querschnitt der Phasenleiter, falls die tatsächliche Größe nicht durch Berechnungen nachgewiesen werden kann.

## 7. Bewertung des Erdungssystems

### 7.1. Blitzschutz

Gemäß **IEC 61400-24:2019** müssen die folgenden standortspezifischen Informationen während der Errichtung des Fundaments ausgewertet und mit einer Mindestanzahl von Bildern und Messungen dokumentiert werden, um die Auslegung des Erdungssystems zu bestätigen:

- spezifischer Bodenwiderstand
- Erdschlussstrom
- Abschaltzeit des Erdschlussstromes
- Berechnungen
- Schritt- und Berührungsspannung

Der (die) Ringerder muss (müssen) entsprechend des gemessenen spezifischen Bodenwiderstands ausgelegt sein (werden). Zusätzliche Erder können nötig sein, falls die Länge des Erdungssystems unzureichend ist.

SGRE empfiehlt die Verlegung von zusätzlichen blanken Kupferleitern oberhalb der Kabelführung von mindestens 50 mm<sup>2</sup>, um das Risiko von direktem Blitzeinschlag in die im Boden verlegten Mittelspannungskabel zu vermeiden, um die induzierten Blitzwirkungen in die Kabel zu verringern als auch um das gesamte Windparkerdungssystem zu verbessern.

### 7.2. Zulässige Schritt- und Berührungsspannung

Um die Anforderungen an die Sicherheit von Personen hinsichtlich der zulässigen Schritt- und Berührungsspannung nach **IEC 60479-1:2018** zu erfüllen, sind die in **DS/EN 50522:2011** angegebenen allgemeinen Verfahren anzuwenden.

## 8. Vorentwurf

Wenn der Auftraggeber für den Entwurf des Fundaments und/ oder design einer externen Transformatorlösung verantwortlich ist, muss der Auftraggeber an SGRE eine Liste zur Verfügung stellen, aus der hervorgeht, was und wie der Entwurf des WEA-Fundaments aus der Sicht eines Erdungssystems dokumentiert wird, um die in diesem Dokument erwähnten anwendbaren Normen zu erfüllen.

SGRE ist nicht verpflichtet, die zur Verfügung gestellte Liste zu überprüfen, da es in der Verantwortung des Auftraggebers liegt, sicherzustellen, dass alle konstruierten Designs zum Zeitpunkt der Lieferung allen anwendbaren Normen entsprechen und entsprechend bewertet und dokumentiert wurden.

In Fällen, in denen größere Schäden an der WEA und ihren Komponenten verursacht werden, die auf eine falsche Auslegung des Erdungssystems zurückzuführen sein könnten, umfasst die standardmäßige SGRE-Ursachenanalyse unter anderem eine Bewertung der Konformität des tatsächlichen Erdungssystems auf der Grundlage der vom Auftraggeber bereitgestellten Dokumentation und der Dokumentationsliste.

## 9. Anhang – Beispiel-Checkliste für WEA mit internem Transformator

Aufgabe	Anforderung	Ergebnis	Anmerkungen
Bericht über die Bodenwiderstandsfähigkeit (Vor der Installation des Fundaments)	Der Bodenwiderstand muss vor der Errichtung des Fundaments gemessen werden. Das Ergebnis ist für die Bestimmung der erforderlichen Erdungselektrode gemäß IEC 61400-24:2019 Abschnitt 9.4 zu verwenden. Die Auswahlkriterien und die Berechnung müssen im Bericht klar ersichtlich sein. Bilder, Zeichnungen usw. müssen in den Bericht aufgenommen werden.		
Bericht über den spezifischen Bodenwiderstand (Nach Einbau des Fundaments)	Der Bodenwiderstand wird nach der Errichtung des Fundaments gemessen, wobei das Fundament der Ausgangspunkt ist. Das Ergebnis muss die Konformität der installierten Erdungselektrode bestätigen. (IEC 61400-24:2019 Abschnitt 9.4) Bilder, Zeichnungen usw. müssen dem Bericht beigelegt werden.		
Bericht über den Erdungswiderstand	Niedriger als 10 [Ohm] (wenn möglich, wie empfohlen in IEC 62305-3 Abschnitt 5.4.1) Der Bericht muss einen Installationsplan enthalten, einschließlich eines Layouts des Erdungssystems mit Angaben zu den Anschlusspunkten, der Verwendung von Verbindern, Klemmen und Schweißnähten, den Positionen und der Anzahl der Abgänge sowie deren Art und Qualität. Ein Service- und Wartungshandbuch, in dem beschrieben wird, wie oft und wie das Erdungssystem überprüft und gewartet werden soll, muss in Absprache zwischen den Konstrukteuren und dem Betreiber der Windkraftanlage erstellt werden. (IEC 61400-24:2019 Abschnitt 9.5) Bilder, Zeichnungen usw. müssen in den Bericht aufgenommen werden.		
WEA-Fundament			
– Bewehrung	Bilder		
– Ringelektroden, Anschluss an Bewehrung.	Bilder / min. 50 mm <sup>2</sup>		
– Erdungskabel, Anschluss an Bewehrung.	Bilder / min. 50 mm <sup>2</sup>		
Kabelleerrohre			
– Falls Metall, mindestens angeschlossen an Fundamentbewehrung und Turmeintritt/-austritt.	Bilder		