

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de Änd: 12
		Datum: 07/05/18 Seite 1 von 25
Genehmigungsverfahren: STD - Support	Empfohlener Erdungsanschluss	Genehmigungsverfahren: Elektronisch: PDM-Fluss + Übersetzung
Übergabe: S12		Durchgeführt: PORTIGOSA
		Geprüft: PORTIGOSA
		Genehmigt: OGARCIA
© Siemens Gamesa Erneuerbare Energie, S.A., 2018, Alle Rechte vorbehalten		

INHALT

INHALT.....	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
1 ZWECK	5
2 GELTUNGSBEREICH.....	5
3 BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN	5
4 ANWENDBARE VORSCHRIFTEN	5
5 ERDUNG	5
5.1 ANGEWENDETE VERORDNUNGEN UND TECHNISCHE BERICHTE	6
5.2 BEWERTUNG DER ERDUNG	6
5.2.1 Werte der zulässigen Durchgangs- und Kontaktspannungen.....	6
5.2.2 Niederspannungsanlage	7
5.3 BESCHREIBUNG DER ERDUNGSANLAGE	7
5.3.1 Berücksichtigte technische Studien	7
5.3.2 Bestandteile der Erdungsanlage.....	9
5.3.2.1 Erdung des Turms	9
5.3.2.2 Erdungsleiter des Fundamentrings	12
5.3.2.3 Innerer Potenzialausgleichring	13
5.3.2.4 Radialleiter zwischen Schutzringen- und Leitern des Windparks	15
5.3.2.5 Äußerer Potenzialausgleichring	17
5.3.2.6 Radialleiter zwischen äußerem Potenzialausgleichsring und Umfangselektrode	17
5.3.2.7 Umfangselektrode	18
5.3.2.8 Stäbe/Zusatzelektroden	20
5.3.2.9 Aktivanoden.....	22
5.3.2.10 Erdungsplatte an der Turmbasis.....	22
5.3.3 Material der Elektroden.....	23
5.3.4 Bauliche Merkmale	23
6 VORZUNEHMENDE PRÜFUNGEN DER INSTALLATIONEN DER ERDUNGSANLAGE.....	25
7 PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNGEN	25
8 PRÜFUNGEN DER ANLAGE	25
9 VERWANDTE DOKUMENTE.....	25

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 2 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

ÄNDERUNGSPROTOKOLL

Änd.	Datum	Autor	Beschreibung
00	15/09/08	JME	- Erstausgabe.
01	06/03/12	JDECARLOS	<ul style="list-style-type: none"> - Hinzufügung von G9X zum Kapitel "Reichweite" - Aktualisierung der anwendbaren Vorschriften. - Aktualisierung der zulässigen Werte der Durchgangs- und Kontaktspannung in Übereinstimmung mit der Aktualisierung IEC 61936-1 - Windenergieanlage ist ein Verteilungsschema Typ TN-S. - Reduzierung der Zahl der Radialleiter beim Durchgang durch den Fundamentring auf zwei. - Änderung der Verlegung der Radialleiter beim Durchgang durch den Fundamentring und Querschnitt von 50 mm². - Änderung der Verlegung der Potenzialausgleichsleiter des Fundamentrings - Reduzierung des Mindestquerschnitts des inneren Rings der Windenergieanlage auf 50 mm². - Detailliertere Information zu den Radialleitern zwischen den Ringen und zu der Kabeldurchführung durch die Wellrohre - Reduzierung des Mindestquerschnitts des äußeren Rings der Windenergieanlage auf 50 mm². - Hinzufügung Detailansicht der Verbindung zwischen Radialleitern-Umfangselektrode und Fundamentbewehrung - Änderung der Mindestdurchmesser der Erdungsstäbe und Hinweis, dass sie sich in einem Abstand von 1 m zur Außenkante des Fundaments befinden müssen. - Reduzierung der Anzahl der Thermitschweißungen. - Eliminierung der Kabel, die nicht an die Erdungsplatte angeschlossen werden, und Hinzufügung einer Detailansicht der Kabel. - Änderung des Kriteriums zur Auswahl des Querschnitts des Haupterdungsleiters der Windfarm. - Hinzufügung von Anforderungen für die Potenzialausgleichsleiter des Betonturms. - Hinzufügung von Anforderungen für die Potenzialausgleichsleiter von Stahltürmen im Falle von Fundamenten mit Bolzen.
02	01/08/12	JDECARLOS	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der Zahl der Radialleiter beim Durchgang durch den Fundamentring auf 3. - Hinzufügung von runden und achteckigen Fundamenten. - Hinzufügung des Abschnitts Steiniges Gelände.
03	09/10/12	JMBERENGUER	- Die Bezeichnung G8X/G9X wird durch Gamesa 2.0 MW ersetzt.
04	06/04/14	JDECARLOS	<ul style="list-style-type: none"> - Hinzufügen der Plattform Gamesa 2.5 MW. - Abschnitt 5.3.2 IV. Hinzufügen der Detailansicht des Radialleiteranschlusses zwischen dem Innen- und dem Außenring für die Fundamente mit Bewehrungskorb.
05			
06	28/10/15	JDECARLOS	- Änderung des Abschnitts 5.2.1.
07	26/11/15	IERVITI	- Hinzufügen der Plattform Gamesa 3.3MW.
08			

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 3 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

			<ul style="list-style-type: none"> - Generelle Überarbeitung des Dokuments. Neue Codierung und Reorganisation der Abschnitte und Abbildungen. - Abschnitt 5.1.- Referenznorm IEC 61400-24. - Punkt 5.2.1.- Detaillierte Definition der Durchgangs- und Kontaktspannungen. - Punkt 5.3.1.- Höhere Relevanz und Bedeutung für den Geländewiderstand. - Punkt 5.3.2.4.- Information in einer Abbildung zusammengefasst. - Punkt 5.3.2.5.- IEC 61400-24 I.1.2.1: Die Durchgangs- und Kontaktspannungen werden auf die tiefere Grabung reduziert. Korrigiert. - Punkt 5.3.2.7.- Die Länge der gewellten Fundamentstangen wird berücksichtigt, damit sie als leitend eingestuft werden können. Klammern. Je nach den lokalen Vorschriften können sie nicht als Erdungselemente verwendet werden. - Punkt 5.3.2.8.- Anzahl der vertikalen Erdungsstäbe hauptsächlich nach dem Erdungswert. - Punkt 5.3.2.10.- Es wird die Anzahl der zu verbindenden Leiter in der allgemeinen Erdungsplatte der Windenergieanlage verallgemeinert. Schutzleiter der Gondel ohne Benennung. - Punkt 5.3.4.- Abbildung geschweißte Verbindungen: werden zu einer zusammengefasst. - Kapitel 6.- Steiniges Gelände: Größerer Fokus auf Durchgangs- und Kontaktspannungen. Sekundärer Erdungswert (IEC 61400-24 9.3.7). Nicht zutreffendes wird gelöscht. - Kapitel 8.- Die regelmäßigen Erdungswartungsinspektionen richten sich standardmäßig nach IEC 6400-24. Jährliche visuelle und halbjährliche vollständige Inspektion.
09	17/01/17	JHERMOSO	
10	09/03/17	IERVITI	- Plattform Gamesa 3.465MW wird berücksichtigt.
11	02/08/17	JHERMOSO	- Punkt 5.3.2.2.- Die spezifische Kupferkabelverbindung mit den vorgespannten Schrauben des Bewehrungskorbs. Diese Verbindung wird detailliert spezifiziert.
12	21/02/18	PORTIGOSA	- Aufnahme der Plattform SG4.XMW

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 4 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Zulässige Werte der Kontaktspannungen bezüglich der Dauer der Fehlerströme	7
Abbildung 2. Mindestlänge l1 der einzelnen Erdungselektroden entsprechend der Klasse des Blitzschutzsystems und des Geländewiderstands.	8
Abbildung 3. Elemente einer Erdungsinstallation vom Typ	10
Abbildung 4. Leistungsausgleichsverbinding des unteren Turmabschnitts mit inneren Leistungsausgleichsring.	11
Abbildung 5. Schraubverbindungsdetails	12
Abbildung 6. Leistungsausgleichsverbinding des Fundamenttrings mit innerem Leistungsausgleichsring	12
Abbildung 7. Bolzenfundament: Erdungsleiterverbinding zum Fundamentring	13
Abbildung 8. Betontürme: Erdungsleiterverbinding zum Fundamentring	13
Abbildung 9. Befestigungsklammern für den Innenring auf der unterlage.	14
Abbildung 10. Beispiel für alternativen Potenzialausgleichsring	14
Abbildung 11. Fundamentring: Durchführung der Radialleiter und Windfarmenschutz	15
Abbildung 12. Fundamentring: Foto: Durchführung der Radialleiter und Windfarmenschutz	16
Abbildung 13. Elektrische Verbinding Radialleiter	16
Abbildung 14. Bolzenfundament: Durchgang von Radialleitern	17
Abbildung 15. Verteilung der Radialleiter der äußeren Erdungsringe, je nach Fundamenttyp.	18
Abbildung 16. Geschweißte Potenzialausgleichsverbinding zwischen dem Erdungssystem und der Fundamentbewehrung.	19
Abbildung 17. Elektrische Verbinding mit einer einzelnen Schweißverbinding	20
Abbildung 18. Vorschlag für den Anschluss zusätzlicher Erdungsstäbe	21
Abbildung 19. Tiefe der Zusatzelektrode im Boden	21
Abbildung 20. Vorschlag für Zusatzelektrode	22
Abbildung 21. Detail der allgemeinen Sammelschiene der Windenergieanlage	23
Abbildung 22. Position der Thermitschweißungen in einer Erdungsanlage vom Typ	24
Abbildung 23. Detail der Umsetzung von Thermitschweißverbindungen	24

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 5 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

1 ZWECK

In diesem Dokument werden die wichtigsten Merkmale beschrieben, die bei der Erdung der GAMESA-Windenergieanlagen zur Gewährleistung der Sicherheit der Personen und der Windenergieanlage bei atmosphärischen Entladungen oder einer Störung in der Mittelspannungseinrichtung erfüllt werden müssen.

2 GELTUNGSBEREICH

Dieses Dokument definiert die Installation von Erdungsanlagen für die Windenergieanlagen der Plattform GAMESA 2.0/2.1MW, 2.5/2.625MW, 3.3MW/3.465MW und SG4.XMW.

Somit handelt es sich bei den baulichen Merkmalen, Materialien und sonstigen Elementen um vorgeschriebene Aspekte, es sei denn, der Kunde belegt und weist nach, dass seine Konstruktion einschränkender und sicherer als die von GAMESA ist.

Die Schutzleiter, die von der Platte in die Windenergieanlage abgehen, sind nicht Teil dieser Anforderungsspezifikation.

3 BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN

MS	Mittelspannung.
NT	Niederspannung.
Erdung	Erdung.
Erdungsanlage	Mehrere geerdete Elektroden, die als Blitzableitungen und als Schutz für Personen und Geräte funktionieren.
MS-Anlage:	Mehrere Geräte mit Spannungen zwischen 1 kV und 36 kV.
NS-Anlage:	Mehrere Geräte mit Spannungen unter 1 kV.

4 ANWENDBARE VORSCHRIFTEN

IEC 60479-1	Auswirkungen von Strom auf den Menschen und Haustiere. Teil 1: Allgemeine Aspekte.
IEC 61936-1	Elektrische Anlagen mit einer Nennspannung über 1 kV mit Wechselstrom. Teil 1: Allgemeine Regeln.
IEC 61400-24	Windenergieanlagen. Teil 24: Blitzschutz.
IEC 62305-1	Blitzschutz. Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
IEC 62305-3	Blitzschutz. Teil 3: Physischer Schaden an Strukturen sowie Personen.
ANSI/IEEE Std 81.2	Handbuch für Impedanzmessung und Sicherheitsmerkmale für erweiterte oder vernetzte Erdungssysteme.
IEC 60949	Berechnung der thermisch zulässigen Kurzschlussintensitäten unter Berücksichtigung der adiabatischen Erwärmungseffekte.

5 ERDUNG

Eine Windenergieanlage ist eine Stromerzeugungsanlage, die HS-Geräte enthält. Wie alle elektrischen Anlagen muss sie die notwendigen und ausreichenden Sicherheitsmaßnahmen erfüllen, um den Schutz der Personen und Güter vom Anfang der Arbeiten an zu gewährleisten.

Daher müssen sie z. B. nach Abschluss der verschiedenen Montagephasen einer Windenergieanlage umgehend nach der Erdung angeschlossen werden. Beispielsweise muss während der Errichtung des ersten Turmbchnitts auf dem Fundament das gesamte Potenzialausgleichs- und Erdungssystem an der Turmbasis angebracht werden. Bei Gewitter müssen die Empfehlungen der Vorschrift IEC 61400-24 befolgt werden.

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 6 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

5.1 ANGEWENDETE VERORDNUNGEN UND TECHNISCHE BERICHTE

Das Erdungsdesign der GAMESA-Windenergieanlagen entspricht den in den im Abschnitt 4 dieses Dokuments aufgeführten Vorgaben. Die geltende Norm ist IEC 61400-24.

5.2 BEWERTUNG DER ERDUNG

Aus Sicherheitsgründen ist die Installation der MS- und NS-Anlagen gleich.

Die meisten Bauteile der Windenergieanlage sind aus Metall gefertigt und miteinander verbunden. Der Abstand zwischen diesen Bauteilen ist gering, weshalb eine Einhaltung der Sicherheitsabstände wie bei voneinander unabhängigen Bauteilen (hinsichtlich unterschiedlicher Potenziale) nicht möglich ist.

Die Schutzstrategie im Inneren der Windenergieanlage beruht auf dem Potenzialausgleich, womit die internen Potenzialabweichungen zwischen den verschiedenen Massen minimiert werden.

Die gesamte NS-Anlage ist mit dem Erdungssystem der Windenergieanlage verbunden. Keiner der NS-Stromkreise findet Fortsetzung außerhalb der Windenergieanlage zu einer entfernt gelegenen Last mit eigener Erdung.

Da die NS-Betriebserdung und die NS-Schutzerdung gemeinsam ausgeführt wird, werden bei einem MS-Isolierungsfehler der Nullleiterbezug und damit auch der Bezug der NS-Spannungen gemeinsam verschoben, wodurch die Potenzialunterschiede zwischen den Stromkreisen und Massen aufrechterhalten werden und damit die Integrität der Isolierungen gewährleistet wird.

Ein weiterer Vorteil dieser Konfiguration ist, dass alle Niederspannungsfehler ohne Nutzung des Erdungsnetzes im Innern der Windenergieanlage abgeschlossen bleiben. Diese Fehlerstromableitung besteht ausschließlich aus den Schutzleitern bzw. Metallelementen mit großem Querschnitt, womit der Fehlerstromwiderstand minimiert werden kann, ohne von dem relativ hohen Erdungswiderstand abhängig zu sein.

Dies kann nicht auf die MS-Spannungsfehler (Transformator, Netzkabel oder Zellen) und Blitzentladungen angewendet werden. Nur die Erdungsanlage kann die Kontaktspannungen am Eingang der Windenergieanlage begrenzen, weshalb sie so wichtig ist.

Eine korrekte Erdungsanlage ermöglicht die Ableitung der Blitzenergie und verringert die Beschädigungsmöglichkeit der Anlage. Wenn eine Blitzwellenfront auf einen starken Widerstand stößt, was charakteristisch bei diesem Vorgang ist, kommt es zu einem Steigen der Spannungswelle und einem Sinken der Stromwelle. Die Spannungsniveaus sind sehr gefährlich für die Anlage und erschweren die Ableitung der Blitzenergie.

5.2.1 Werte der zulässigen Durchgangs- und Kontaktspannungen

Entsteht ein Erdungsfehler können Installationen unter Spannung gelangen und berührt eine Person oder ein Tier mit ihnen in Berührung, kann ein lebensgefährlicher Strom entstehen.

Aus diesem Gesichtspunkt umfassen die Normen zwei Risiken, die aus der menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeit entstehen: Durchgangs- und Kontaktspannungen.

Die Kontaktspannung ist die Spannungsdifferenz zwischen einer Person (die an dieser Stelle den Boden berührt und mit den Händen die Struktur berührt) und der geerdeten Struktur. Bei einer Windenergieanlage kann dieser Fall eintreten, wenn eine Person die Zugangstreppe zum Turm berührt.

Die Durchgangsspannung ist die Spannungsdifferenz auf der Oberfläche, die eine Person erleidet, die mit über 1 m gespreizten Beinen auf einer Oberfläche steht, ohne dass sie im Kontakt mit einem geerdeten Objekt steht. Bei einer Windenergieanlage kann dieser Fall eintreten, wenn eine Person im Umkreis der Windenergieanlage vorbeigeht.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Die zulässigen Höchstwerte dieser Spannungen entsprechen den internationalen Normen, auch wenn noch strengere lokale Normen oder Vorschriften vorhanden sein können. In diesem Fall gelten die Höchstwerte dieser lokalen Normen (siehe Abbildung 1).

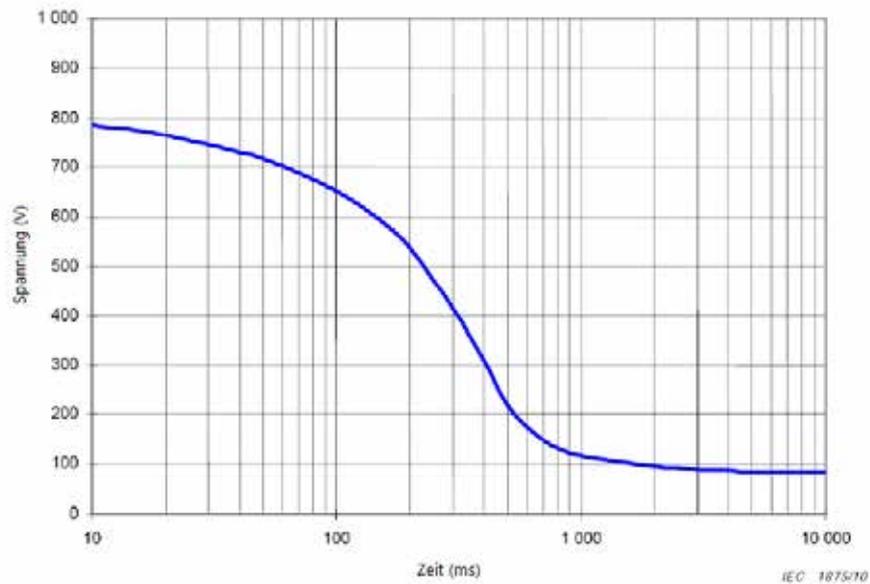


Abbildung 1. Zulässige Werte der Kontaktspannungen bezüglich der Dauer der Fehlerströme

Generell werden mit der Erfüllung der Anforderungen der Kontaktspannungen auch die der Durchgangsspannungen erfüllt, denn aufgrund der verschiedenen Wege, die der Strom durch den Körper nimmt, sind die Grenzwerte der Durchgangsspannungen höher als die der Kontaktspannungen.

Die Erfüllung der Kriterien für Durchgangs- und Kontaktspannungen hängt von den Widerstandsanforderungen der Erdungsanlage, wobei ein Wert von unter 10Ω vorausgesetzt wird. Dies ist einer von mehreren Werten, die das korrekte Design und die korrekte Installation der Erdungsanlage hinsichtlich der Sicherheit für an der Installation beteiligten Personen und Geräten bestimmen.

5.2.2 Niederspannungsanlage

Die NS-Installation der Windenergieanlage ist ein Verteilungsschema Typ TN-S. Mit dieser Konfiguration wird der Schutz der Personen und der Anlagen gewährleistet, da alle Fehlerströme von den Schutzelementen als Kurzschluss ausgelegt werden.

5.3 BESCHREIBUNG DER ERDUNGSANLAGE

5.3.1 Berücksichtigte technische Studien

Wie bereits beschrieben, ist es für die korrekte Bewertung einer Erdungsanlage notwendig, während der Design- und Ausführungsphase die Abfolge der Werte zu bestimmen, die eine korrekte Bewertung der atmosphärischen Ladungen und der Erdungsfehler ohne Risiken für Personen und Geräte zu ermöglichen. Dazu muss die Erdungsanlage einen Wert von unter 10Ω aufweisen und die Durchgangs- und Kontaktspannungen müssen innerhalb des durch die internationalen Normen oder lokalen Vorschriften vorgegebenen Rahmens liegen.

Während der gesamten Lebensdauer müssen jährliche Inspektionen in den Sommermonaten vorgenommen werden, um den perfekten Zustand der Erdungsanlage zu gewährleisten.

Aber um ein korrektes Design der Erdungsanlage vorzunehmen muss unbedingt eine unerlässliche Bedingung erfüllt sein: Bestimmung des Geländes.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Sind der Widerstand des Geländes sowie die Erdschichten bestimmt, können mit einer geotechnischen Standortstudie die Tiefen mit dem geringsten Widerstand sowie der Geländetyp (z. B. steinigtes Gelände) bestimmt werden.

Auf steinigem Gelände kann möglicherweise ein Erdungswiderstand von unter 10Ω nicht erreicht werden. In diesen Bereichen muss besonders auf die Reduzierung der Durchgangs- und Kontaktspannung geachtet werden, was über mindestens zwei konzentrische Ringe erreicht wird, die mit vertikalen Erdungsstäben in Stein oder waagerechten Erdungsstäben kombiniert werden können.

Die Norm IEC 61400-24 wird als Richtlinie von Mustern und als Grundlage für das korrekte Design einer Erdungsanlage einer Windenergieanlage behandelt, wobei es um die Verteilung der Basiserdung in Ringen vom Typ B für Windenergieanlagen nach IEC 61400-24 geht.

Für diese Konfiguration der Erdung vom Typ B bestimmt die Norm IEC 61400-24 im Abschnitt 5.4.2.2 die Mindestlänge der zu installierenden Erdungsleiter bestimmen, die zu mindestens 80 % ihrer Gesamtlänge im Kontakt mit dem Gelände stehen müssen.

Der mittlere Radius des eingeschlossenen Abschnitts des Umfangsringes r_e darf nicht unter l_1 liegen.

$$r_e \geq l_1$$

Der Wert l_1 ist der Geländewiderstand und der Schutzgrad des Blitzschutzsystems, siehe Abbildung 2. Das Blitzschutzsystem einer Windenergieanlage ist der Klasse I zugewiesen.

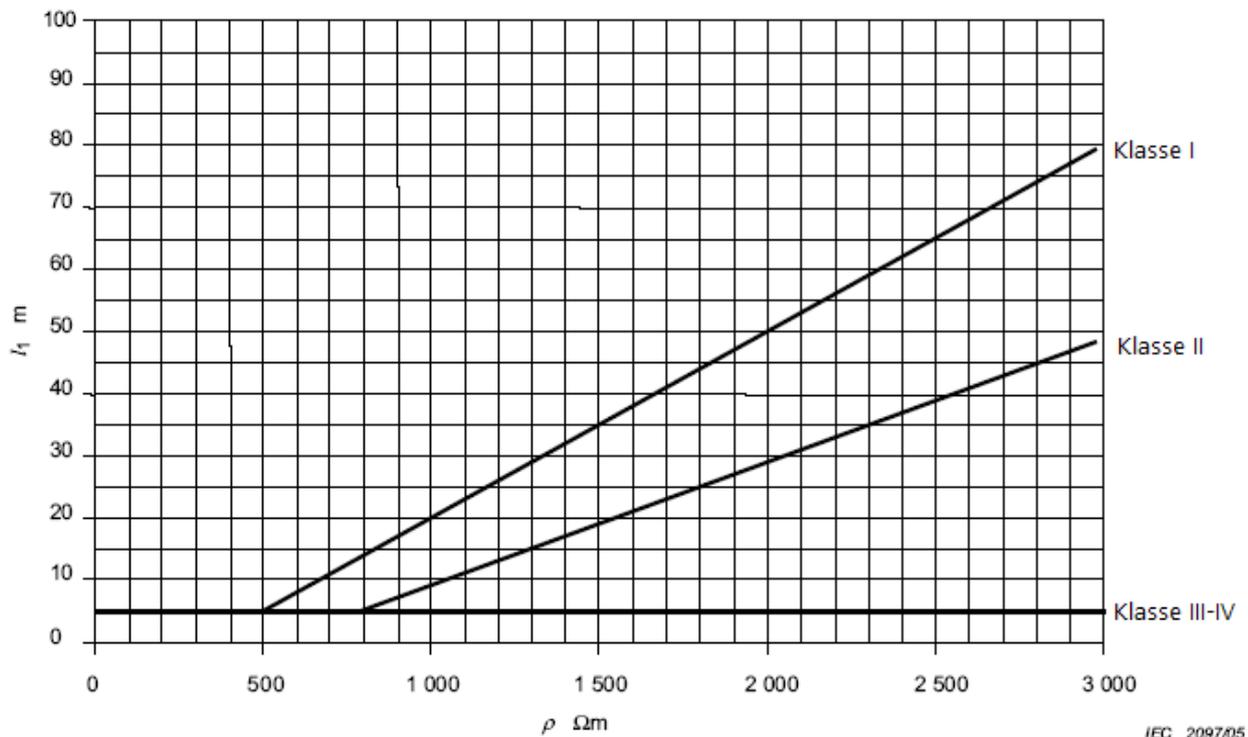


Abbildung 2. Mindestlänge l_1 der einzelnen Erdungselektroden entsprechend der Klasse des Blitzschutzsystems und des Geländewiderstands.

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 9 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

Liegt der Wert l_1 über dem mittleren Radius des Umfangrings müssen vertikale oder horizontale Zusatzelektroden mit folgenden Längen installiert werden:

$$l_r = l_1 - r_e$$

$$l_v = (l_1 - r_e)/2$$

wobei l_r und l_v den Längen der jeweils horizontalen und vertikalen Zusatzelektroden entsprechen. Die vertikalen Elektroden werden für Situationen empfohlen, wobei der Geländewiderstand mit der Tiefe sinkt, während die horizontalen Elektroden für gegenteilige Situationen (steinige Gelände) empfohlen werden.

Zusammenfassend werden die für das Design einer Erdungsanlage erforderlichen Kriterien aufgeführt:

- 1.- Geotechnische Studie und Messung des Geländewiderstands in verschiedenen Tiefen und Richtungen.
- 2.- Bestimmung des Geländes.
- 3.- Umgebungsbedingungen des Standorts.
- 4.- Design des Erdungssystems, um einen Wert unter 10Ω mit der in der Norm IEC 61400-24 festgelegten Mindestlänge der Erdungselektrode für B-Erdungselektroden und Schutzgrad I zu erreichen. Die Mindestlänge der Elektrode wird durch die Schutzklasse und den Geländewiderstand definiert.
- 5.- Design des Erdungssystems, das den zulässigen Durchgangs- und Kontaktspannungen entspricht.
- 6.- Feldmessungen des Erdungswiderstands sowie der Durchgangs- und Kontaktspannungen.

5.3.2 Bestandteile der Erdungsanlage

Die Erdungsanlage einer Windenergieanlage von GAMESA muss zumindest aus den folgenden Elementen bestehen:

- § Erdungsleiter des Turms.
- § Erdungsleiter des Fundamentrings.
- § Innerer Potenzialausgleichsring.
- § Radialleiter.
- § Leiter/ Schutzleiter des Windparks.
- § Äußerer Potenzialausgleichsring.
- § Umfangselektrode.
- § Stäbe/ Zusatzelektroden:
- § Aktivanoden.
- § Erdungsplatte zwischen den Turmabschnitten.

In der Abbildung 3 werden die verschiedenen Teile dargestellt, die Teil der Installation der GAMESA-Erdungsanlage sind.

Das Design der Erdungsanlage basiert auf dem Prinzip der Symetrie, sodass eine symmetrische Anordnung der Elektroden eine gleichförmige Verteilung des Stroms und damit die gleiche Stromdichte unabhängig von der Position des Leiters gewährleistet. Die Ausbalancierung des Stroms der Leiter reduziert den Spannungsabfall und die Interferenzen der elektrischen Felder der Elektroden im Boden.

5.3.2.1 Erdung des Turms

Zwischen den verschiedenen Turmabschnitten werden zur Absicherung des korrekten elektrischen Kontakts zwischen den Flanschen der einzelnen Abschnitte 4 Kupferleiter gleichmäßig verteilt im Turmumfang angeschlossen. Der Querschnitt, die Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Kupferleiter entsprechen den Vorgaben der Norm IEC 62305-3.

Der Mindestquerschnitt der Leiter beträgt 50 mm^2 (empfehlenswert sind 70 mm^2) und besteht innen aus einem Bündel mit einem Mindestdurchmesser pro Ader von 1,7 mm.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

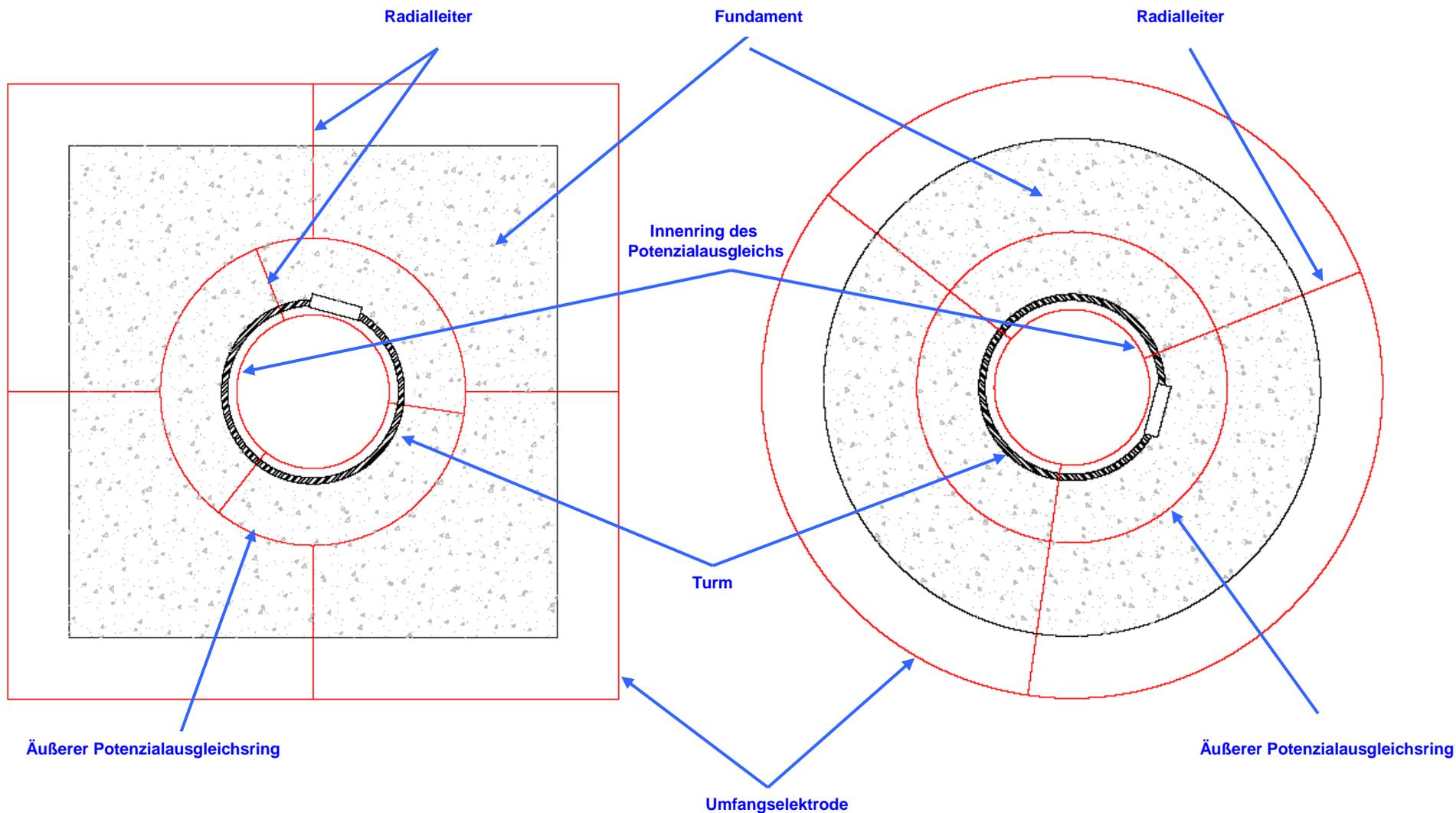


Abbildung 3. Elemente einer Erdungsinstallation vom Typ

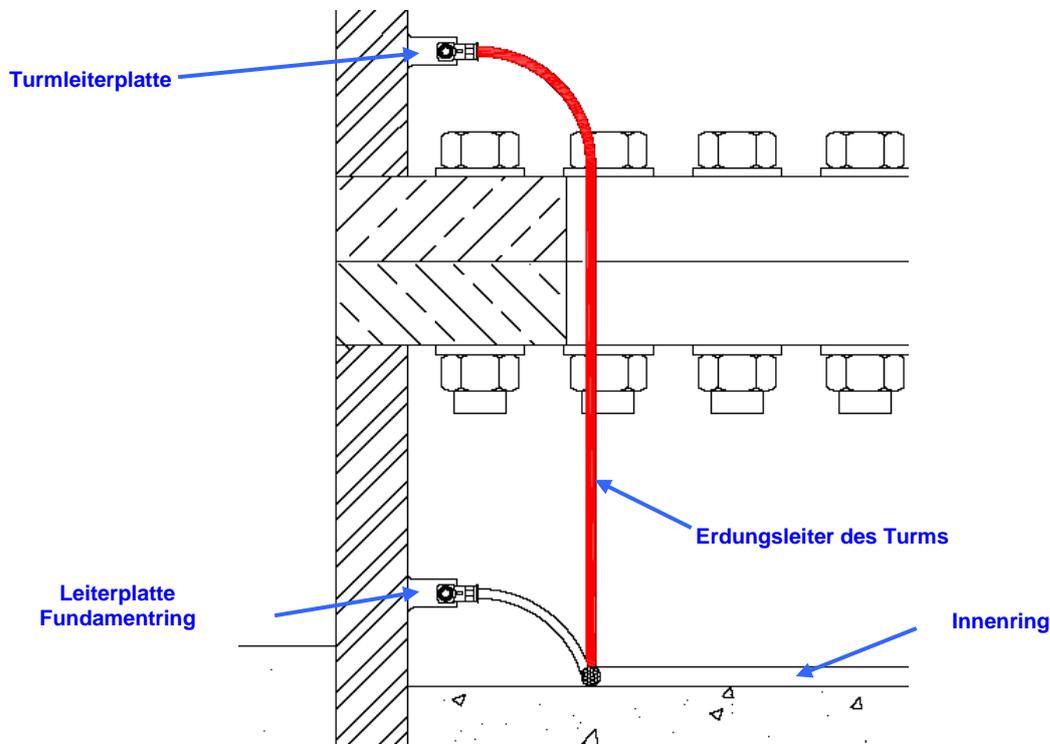
Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**


Abbildung 4. Leistungsausgleichsverbinding des unteren Turmabschnitts mit inneren Leistungsausgleichsring.

Beim Flansch der Verbindung des ersten Turmabschnitts mit dem Fundamenttring wird die elektrische Verbindung nicht auf der Flanschoberfläche hergestellt, sondern dieser wird umgangen und der Turm direkt mit dem inneren Potenzialausgleichsring verbunden. Auf diese Weise haben Blitz- oder Fehlerströme keine Auswirkungen auf die Befestigungsmittel.

Die elektrischen Verbindungen im Turmäußeren sind Schraubverbindungen während die am Äußeren des inneren Leistungsausgleichsringes Thermitschweißverbindungen sind. Die eingesetzten Kabel entsprechen der Mindestlänge.

Die Schraubverbindungen werden mit einem entsprechenden Anschluss vorgenommen, wobei die farb-, rost- und schmutzfreien Verbindungen einen elektrischen Kontakt zwischen den verbundenen Metalloberflächen verhindern.

Nachfolgend wird eine derartige Schraubverbindung detailliert dargestellt. Die verwendete Schraubverbindung werden nach ISO 2081, EN 12329 mit Fe/Zn12c2C behandelt und bestehen aus:

- § Schraube DIN 6921 M10x50 - 8.8 (ohne Rändelung).
- § Mutter DIN 6923 M10 - 8.8 (ohne Rändelung).
- § 2 x Federscheibe DIN 6796 M10 - 8.
- § 2 x Unterlegscheibe DIN M10 7349 - 8.

Zur Vermeidung einer galvanischen Kontaktkorrosion der Stahlplatte wird auf der Kontaktfläche Leiterfett aufgetragen.

Das Anzugsdrehmoment beträgt 40 Nm und nach dem Anziehen wird mit einem gelben Permanentstift eine Markierung quer über die Mutter, Unterlegscheiben, Anschluss und Leiterplatte angebracht.

Diese Schraubentyp wurde für einen optimalen elektrischen Kontaktdruck festgelegt und für die erforderliche Vorlast, damit sich die Schrauben bei Temperaturschwankungen nicht lockern.

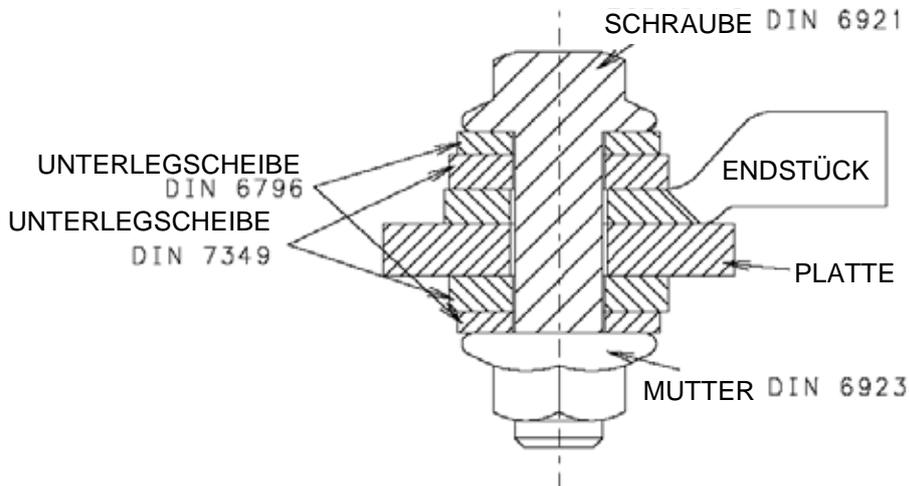
Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**


Abbildung 5. Schraubverbindungsdetails

5.3.2.2 Erdungsleiter des Fundamentrings

Die Hauptaufgabe besteht darin, den Turm mit dem inneren Potenzialausgleichring elektrisch zu verbinden, um Blitz- und Fehlerströme abzuleiten.

Die eingesetzten Kabel haben einen Mindestquerschnitt von 50 mm² und entsprechen in ihrer Anzahl, Zusammensetzung und ihren Eigenschaften den Kabeln, die für die Erdungsleiter des Turms verwendet werden.

Die elektrischen Verbindungen im Turmäußeren sind Schraubverbindungen während die am Äußeren des inneren Leistungsausgleichsrings Thermitschweißverbindungen sind.

Die Schraubverbindungen werden wie im Fall 5.3.2.1, Abbildung 5, umgesetzt.

Die Thermitschweißverbindung wird über die Verbindungspunkte der Turmleiter hergestellt.

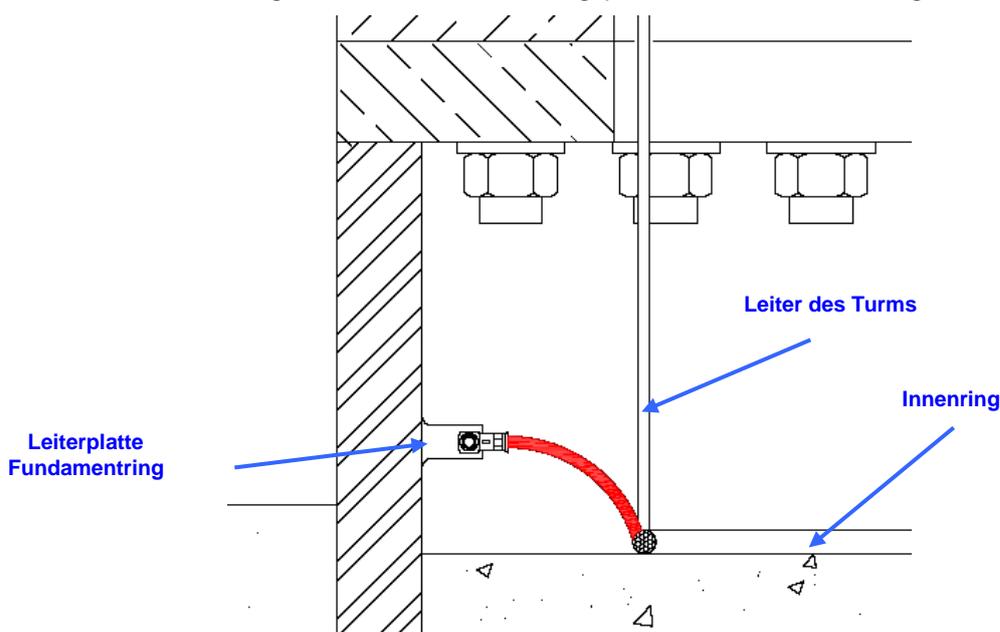


Abbildung 6. Leistungsausgleichsverbindung des Fundamentrings mit innerem Leistungsausgleichsring

Titel: Empfohlener Erdungsanschluss

Bei Fundamenten mit Bolzen werden diese nicht direkt mit der Erdung verbunden, um einen direkten Blitzeinschlag zu vermeiden. Die Leistungsausgleichsverbinding dieser Bolzen wird durch einen elektrischen Kontakt zwischen Schraubverbindungen und Kontaktoberflächen gewährleistet. Die Blitzableitung erfolgt über die elektrische Verbindung zwischen dem inneren Potenzialausgleichring an der Turmbasis sowie dem letzten Turmabschnitt nach Abschnitt 5.3.2.1, oder über den letzten Turmabschnitt, Abschnitt 5.3.2.1 oder über die Stifte des Flansches an der Turmbasis zum selben Leistungsausgleichsring.

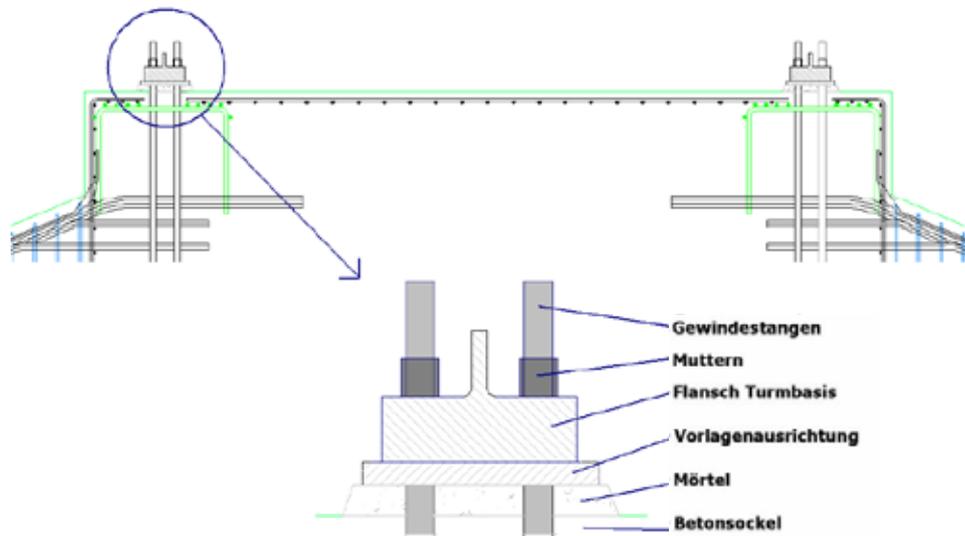


Abbildung 7. Bolzenfundament: Erdungsleiterverbindung zum Fundamentring

Bei Betontürmen wird ähnlich verfahren. In diesem Fall werden alle Keilsteine oder Teilabschnitte des Bereichs mit dem inneren Leistungsausgleichsring über die im Beton eingelassenen Erdungsanschlüsse verbunden, die aus dem Beton zur Verbindung mit gehärtetem Stahl ragen.

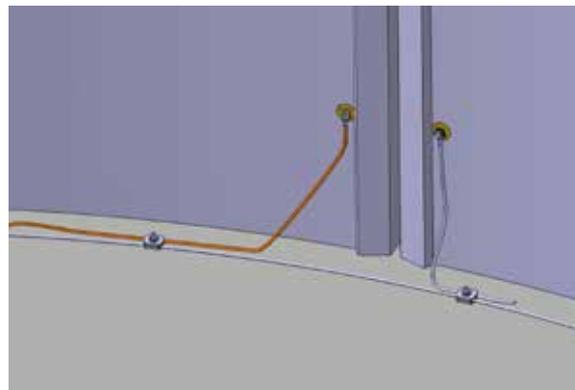


Abbildung 8. Betontürme: Erdungsleiterverbindung zum Fundamentring

5.3.2.3 Innerer Potenzialausgleichsring

Blanker Kupfferring mit Mindestquerschnitt von 50 mm^2 (empfehlenswert sind 70 mm^2), der innen aus einem Bündel mit einem Mindestdurchmesser pro Ader von $1,7 \text{ mm}$ besteht und auf der Betonunterlage des Fundamentrings aufliegt und befestigt ist und dessen Hauptaufgabe darin besteht, die Leistung zwischen den mit ihm verbundenen Metallkomponenten auszugleichen und Blitz- und Fehlerströme gleichmäßig über die Radialleiter an das Erdungssystem zu leiten.

Der Ring schließt sich durch Verbindung seiner beiden Enden, wobei eine der Schweißnähte mit den Leitern des Turms oder den Radialleitern genutzt wird.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Der innere Potenzialausgleichring befindet sich auf der Unterlage des Fundaments in einem Abstand von 15 cm zur Wand des Fundamentrings und wird auf der Unterlage mit Stahlklammern befestigt, die mit dem Beton über Polyamiddübel mit 8 mm Durchmesser verschraubt werden.

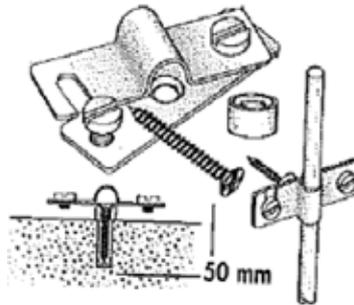


Abbildung 9. Befestigungsklammern für den Innenring auf der Unterlage.

Diese Befestigungen werden an beiden Enden jeder Thermitschweißung in ungefähr 50 mm Entfernung von derselben platziert und von dort aus in einem Abstand von 500 mm über den ganzen Umfang des Rings hinweg. Ihr Zweck ist es, die Leitung in ihrer Position zu halten, damit sie keinen zusätzlichen mechanischen Beanspruchungen unterworfen ist, die durch die elektrodynamischen Kräfte der Fehler- und Blitzströme entstehen.

Alternativ kann der Kupfererring auch durch einen anderen Ringtyp ersetzt werden, sofern dieser den Querschnitten, Abmessungen und der Verteilung sowie den Vorschriften entspricht.



Abbildung 10. Beispiel für alternativen Potenzialausgleichsring

An diesen inneren Potenzialausgleichring werden per Thermitschweißung folgende Elemente angebracht:

- Radialleiter, die ihn mit dem äußeren Potenzialausgleichring sowie mit der Umfangselektrode verbinden.
- Plattformhalterungen im unteren Turmabschnitt.
- Erdungsleiter des Fundamentrings.
- 15 oder 20 cm langer Schlauch für die Verbindung mit der Leistungsausgleich-Erdungsplatte.

Es muss berücksichtigt werden, dass in Abhängigkeit des Nullleiters des Transformators der Unterstation und des Abstands zur selben, die zu erdenden Fehlerströme bei mit Industriefrequenz der Mittelspannungskreisläufe der Windfarm bei ihrem Rückfluss zur Quelle ebenfalls durch diese Leiter laufen können.

Logischerweise werden die Stromstärken nicht so hoch sein wie die, die bei einem Blitzschlag entstehen, doch die Dauer ist beachtlich. In diesen Situationen muss der Eigentümer oder der Konstruktionsleiter der Anlage den Querschnitt des inneren Rings und der Radialleiter und Erdungselektroden festlegen und gewährleisten, dass sie den durch den Strom einwirkenden thermischen Beanspruchungen standhalten können.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Spanische Vorschriften verlangen beispielsweise, dass eine Stromdichte von $160\text{A}/\text{mm}^2$ und eine Temperatur von 200°C nicht überschritten werden und dass als Dauer des Fehlerstroms 1 Sek. angenommen wird. (RCE ITC13 Abschnitt 3.1 Erdungsleitungen.)

Unabhängig von den umgesetzten Vorschriften muss jedoch darauf geachtet werden, dass zum Ende der Fehlerstromdauer die Temperatur in den Leitern 300°C nicht überschreitet. Um dies zu berechnen, wird die Norm IEC 60949 verwendet. Bei Verwendung von isoliertem Kabel liegt der maximal zulässige Temperaturwert bei 250°C .

5.3.2.4 Radialleiter zwischen Schutzringen- und Leitern des Windparks

Die Radialleiter, die die Installation der Windenergieanlage mit dem externen Erdungssystem über den äußeren Potenzialausgleichsring verbinden, werden über mindestens drei blanke Kabel mit einem Mindestquerschnitt von 50 mm^2 (empfehlenswert sind 70 mm^2), die innen aus einem Bündel mit einem Mindestdurchmesser pro Ader von $1,7\text{ mm}$ bestehen, umgesetzt.

Die elektrischen Verbindungen an den beiden äußeren Enden werden über Thermitschweißungen sowohl am Ende des inneren Potenzialausgleichsringes als auch am Ende des äußeren Potenzialausgleichsringes und der Umfangselektrode hergestellt.

Die Radialleiter müssen zur Verringerung des Widerstandes so kurz wie möglich sein und sollten nicht gekrümmt sein.

Die Kabelführung durch den Fundamenttring zum Boden erfolgt über Wellrohre mit einem Durchmesser von 90 mm über die gesamte Oberfläche des Betonfundaments (dabei sind galvanische Paare mit dem Moniereisen zu vermeiden und die Ersetzung und Montage über die Betonierung zu unterstützen). Im Fundamenttring wird für jeden Radialleiter eine Bohrung vorgenommen.

Am Rand des Turms schließt das Wellrohr mit der Unterlage ab, doch auf der Seite des Bodens steht es mindestens 50 mm von der Seite des Betonmantels des Fundamenttrings ab.

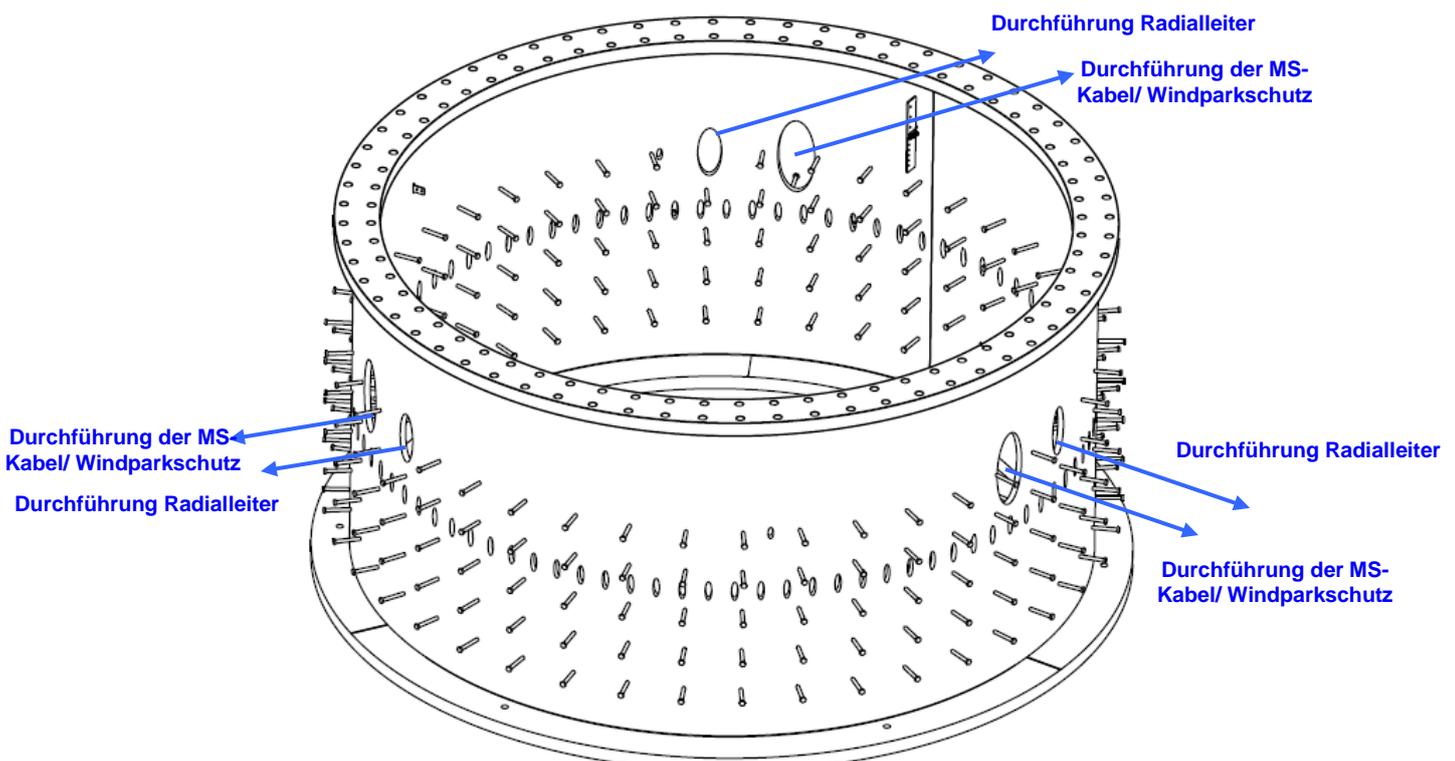


Abbildung 11. Fundamenttring: Durchföhrung der Radialleiter und Windparkschutz

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**


Abbildung 12. Fundamentring: Foto: Durchführung der Radialleiter und Windfarmenschutz

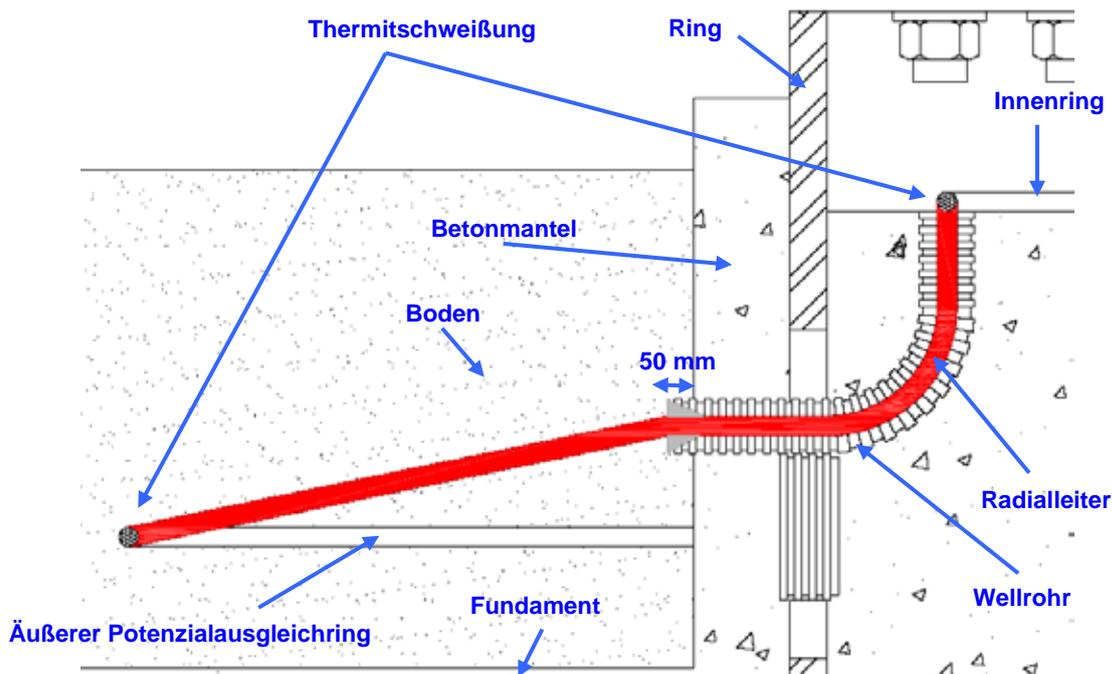


Abbildung 13. Elektrische Verbindung Radialleiter

Bei Fundamenten mit Bewehrungskorb müssen zum Anschluss der Radialleiter zwischen dem Innen- und dem Außenring im Betonsockel drei Wellrohre mit einem Durchmesser von 20 mm in einem Winkel von 120° eingegossen werden, wie auf der folgenden Zeichnung zu sehen ist.

Die Schutzleiter der Windfarm sollen alle Windenergieanlagen des Windparks mit der Transformator-Unterstation verbinden, um sicherzustellen, dass der Widerstand den vorgegebenen Mindeststromstärke nicht unter den Grenzwert der Schutzelemente der Unterstation sinken lässt.

Diese Schutzleiter der Windfarm werden durch das selbe Wellrohr (200 mm Durchmesser) der MS-Kabel der Installation geführt, wobei sie über den MS-Kabeln liegen, damit die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlags auf die Ableitungskabel reduziert wird (IEC 61400-24 Abschnitt 9.5). Die Anzahl der Schutzleiter liegt zwischen 1 und 3 je nach dem Standort der Windenergieanlage im Windpark.

Titel: Empfohlener Erdungsanschluss

- Wenn die Windenergieanlage am Ende der Verzweigung steht, erfolgt die Installation nur in einer der drei vorhandenen Kabeldurchführungen.
- Wenn die Windenergieanlage in der Mitte der Verzweigung steht, erfolgt die Installation an zwei der drei vorhandenen Kabeldurchführungen (Eingang und Ausgang der MS-Kabel zur Windfarm).
- Wenn die Windenergieanlage sich in einer "Y"-Position befindet, erfolgt die Installation an den drei Kabeldurchführungen (eins am Eingang und zwei am Ausgang).

Die elektrische Verbindung der Schutzleiter erfolgt nicht direkt auf der allgemeinen Erdungsplatte der Windenergieanlage. Der Schutzleiter aus der vorherigen Windenergieanlage durchläuft die zu verbindende Windenergieanlage und läuft durch ein Wellrohr zur nächsten Windenergieanlage weiter. Diese elektrische Verbindung erfolgt mit einem Kupferkabel, das den gleichen Querschnitt besitzt wie der Schutzleiter und an diesen durch Thermitschweißen angeschweißt wird. Die Verbindung mit der allgemeinen Erdungsplatte der Windenergieanlage erfolgt über eine Schraubverbindung, die unter 5.3.2.1 in Abbildung 5 beschrieben wird.

Wellrohr: Øinnen ≥ 20 mm (3 Stück, getrennt 120°)

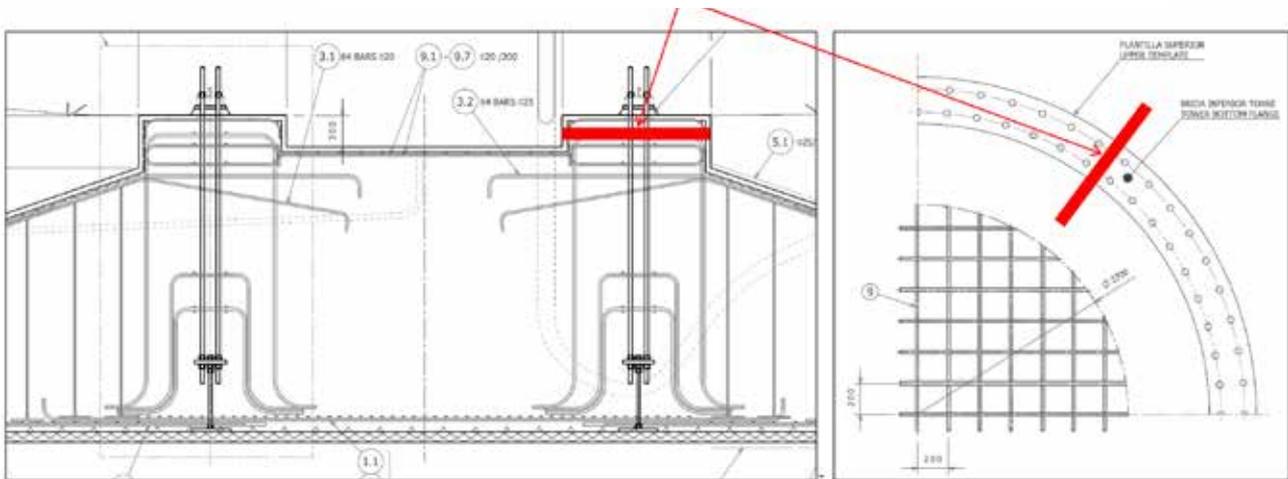


Abbildung 14. Bolzenfundament: Durchgang von Radialleitern

5.3.2.5 Äußerer Potenzialausgleichsring

Dieser Ring soll Blitz- oder Fehlerströme ableiten und die Durchgangs- und Kontaktspannungen einschränken.

Es sind blanke Kupferleiter mit einem Mindestquerschnitt von 50 mm² (empfohlen sind 70 mm²), die innen aus einem Bündel mit einem Mindestdurchmesser pro Ader von 1,7 mm bestehen.

Der äußere Potenzialausgleichsring befindet sich 1 m vom Außenbereich des Turms entfernt und ist 0,5 m tief in die Erde eingelassen. Diese Tiefe entspricht dem Mindestwert und kann je nach klimatischen Bedingungen am Standort und je nach Geländewiderstand erhöht werden. Größere Tiefen haben geringere Durchgangs- und somit auch Kontaktspannungen zur Folge.

An diesen äußeren Potenzialausgleichsring werden per Thermitschweißung folgende Elemente angebracht:

- 3-4 Radialleiter, die den Ring elektrisch mit dem internen Potenzialausgleichsring verbinden.
- Radialleiter, die den äußeren Potenzialausgleichsring mit der Umfangselektrode verbinden.

5.3.2.6 Radialleiter zwischen äußerem Potenzialausgleichsring und Umfangselektrode

Die Radialleiter, die den äusseren Leistungsring mit der Umfangselektrode verbinden, werden über drei oder vier blanke Kabel mit einem Mindestquerschnitt von 50 mm² (empfehlenswert sind 70 mm²) hergestellt und bestehen je nach der geometrischen Form des Fundaments innen aus einem Bündel mit einem Mindestdurchmesser pro Ader von 1,7 mm.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

- Kreisfundamente: Es werden drei Radialleiter eingesetzt, die in Y-Form verteilt werden (alle 120°). Die elektrische Verbindung des äußeren Leistungsrings erfolgt über das gleiche Schweißverfahren, wie bei den Radialleitern des Turms, um sie mit dem äußeren Leistungsring zu verbinden.
- Quadratische und achteckige Fundamente: Es werden vier Radialleiter eingesetzt. In diesem Fall sind die Leiter immer senkrecht zum Mittelpunkt einer der Seiten der Umfangselektrode. Sie werden nie mit den Spitzen verbunden. Dadurch wird eine geringstmögliche Länge des Radialleiters gewährleistet und die Durchführung der Schweißung der Verbindung erleichtert.

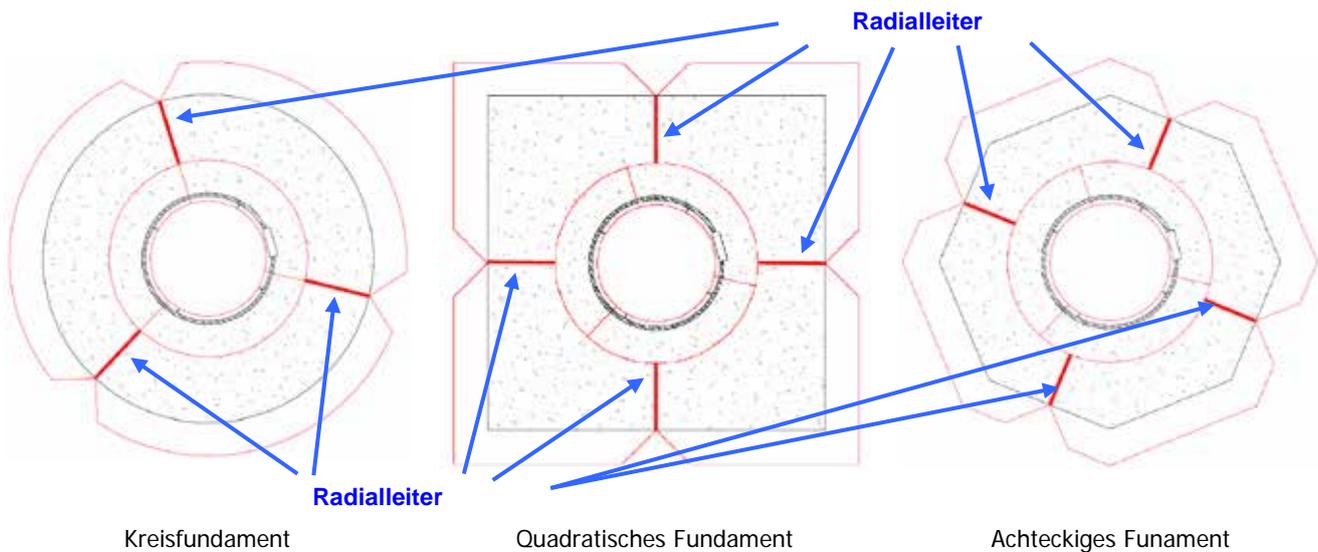


Abbildung 15. Verteilung der Radialleiter der äußeren Erdungsringe, je nach Fundamenttyp.

Bei allen Fundamentkonfigurationen gewährleistet eine symmetrische Anordnung der Elektroden eine gleichförmige Verteilung des Stroms und damit die gleiche Stromdichte unabhängig von der Position des Leiters. Die Ausbalancierung des Stroms der Leiter reduziert den Spannungsabfall und die Interferenzen der elektrischen Felder der Elektroden im Boden.

Je größer die Anzahl, desto stärker reduziert sich in jedem von ihnen die Stromdichte, was somit zu einer Verringerung des Spannungsabfalls bei hohen Frequenzen (Blitz) führt. Der für die Leiter charakteristische Selbstinduktionskoeffizient und Widerstand verändern sich kaum mit der Vergrößerung des Querschnitts. Der einzige Weg, ihre Spannung effektiv zu senken, ist es deshalb, den durch sie geführten Strom zu verringern.

Eine große Zahl an Leitern führt ferner zu einer vernetzteren Verteilung der Erdung und trägt zur leichten Reduzierung des Erdungswiderstands sowie der Durchgangs- und Kontaktspannungen bei.

Die elektrischen Verbindungen an den beiden äußeren Enden werden über Thermitschweißungen sowohl am Ende des äußeren Potenzialausgleichsringes und der Umfangselektrode hergestellt.

5.3.2.7 Umfangselektrode

Dieser Ring soll primär Blitz- oder Fehlerströme ableiten und sekundär die Durchgangs- und Kontaktspannungen einschränken.

Es sind blanke Kupferleiter mit einem Mindestquerschnitt von 50 mm² (empfohlen sind 70 mm²), die je nach geometrischer Form des Fundaments innen aus einem Bündel mit einem Minstdurchmesser pro Ader von 1,7 mm bestehen.

Der geeignete Standort für diese Elektrode im Gelände ergibt sich aus der vorgenommenen Bestimmung des Geländes. Die Umfangselektrode muss 1 m vom Fundament entfernt sein, gemessen an ihrer Außenseite (Bodenkontakt) und mindestens 1 m tief in die Erde eingelassen werden, also einen halben Meter tiefer als der äußere Potenzialausgleichsring.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Bei der Grabung werden die Bereiche mit geringstem Widerstand gesucht, um den Erdungswiderstand zu verringern, das Frostrisiko im Boden zu senken und negative Effekte auszugleichen, wie die Beeinträchtigung der Leitungsfähigkeit. Zudem wird auch die Durchgangs- und Kontaktspannung reduziert.

An diese Potenzialausgleichselektrode werden per Thermitschweißung folgende Elemente angebracht:

- Radialleiter, die die Potenzialausgleichselektrode mit dem äußeren Potenzialausgleichsring verbinden.
- Potenzialausgleichsverbindungen mit der Fundamentbewehrung.

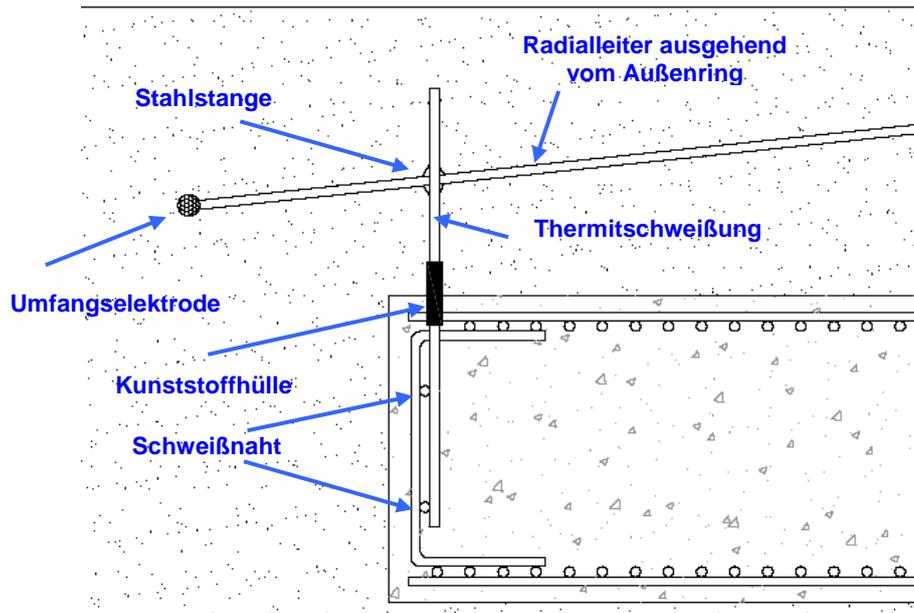


Abbildung 16. Geschweißte Potenzialausgleichsverbindung zwischen dem Erdungssystem und der Fundamentbewehrung.

Jede Schweißnaht zwischen dem Radialleiter und der Umfangselektrode wird dazu genutzt, das Ganze mit einem in Kontakt mit der Fundamentbewehrung befindlichen Rundstahl zu verbinden (siehe Abbildung 16).

Diese Stahlstangen sind von der gleichen Art und dem gleichen Material wie die Fundamentbewehrung und haben einen Durchmesser von mindestens 20 mm. Am Rand des Fundaments sind sie mittels traditionellem Schweißverfahren mindestens an zwei Punkten an die Fundamentbewehrung geschweißt.

Zudem werden diese Stahlstangen am Betonausgang mit einer Plane oder einem PVC-Rohr mit einer Mindestdicke von 1 mm und einer Länge von 100 m geschützt, wobei sie 50 mm von der Betonoberfläche abstehen. An diesem Übergangspunkt besteht für den Stahl aufgrund der unterschiedlichen elektrochemischen Potentiale (galvanische Paare) zwischen Beton und Boden ein erhöhtes Risiko der galvanischen Korrosion.

Zum einen soll diese Verbindung das Potential zwischen den Erdleitern und der oberen Bewehrungen des Fundaments angleichen, und somit als Potentialausgleichsfläche dienen, und zum anderen soll die untere Bewehrung des Fundaments als zusätzliche Erdelektrode verwendet werden. Trotz der hohen spezifischen elektrischen Widerstands des Betons (1000-3000Ωm), sorgen seine innere Feuchte, seine große Kontaktfläche mit dem Boden und die große Zahl an Stangen unter der Fundamentplatte dafür, dass das Fundament eine außerordentliche Erdungselektrode der Installation ist. Es muss berücksichtigt werden, dass die Bewehrung Strom leitet, um sicherzustellen, dass die Stangen untereinander auf angemessene Weise in Kontakt stehen. Es ist nicht genug, dass sie miteinander verbunden sind, sie müssen zudem fest mit Stahldraht verbunden werden, dessen Querschnitt mindestens 20 mal größer als der Querschnitt der verwendeten Wellstange ist, über mindestens 50 mm verschweißt oder mit Klammern befestigt werden (IEC 62305-3 Anhang E.4.3.3). Zudem muss beachtet werden, dass je nach Land die Verwendung von bewehrten Beton als Teil einer Erdungsanlage unzulässig sein kann.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Damit die Verbindung des Radialleiters, Umfangselektrode und der Fundamentbewehrung in einer einzigen Schweißung ausgeführt werden kann, wird die Umfangselektrode von ihrer Position aus 45° gedreht und von ihrem Standort bis zu ihrer Verbindung mit dem Radialleiter über dem Umfang des Fundamentrings gebracht.

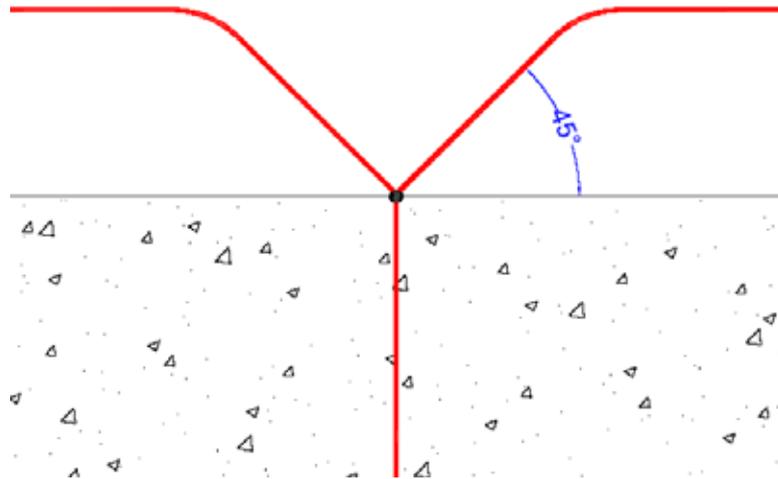


Abbildung 17. Elektrische Verbindung mit einer einzelnen Schweißverbindung

5.3.2.8 Stäbe/Zusatzelektroden

Sind die äußeren Erdungsringe der Standardkonfiguration nicht ausreichend, um den Erdungswiderstand von 10 Ω abhängig vom Geländewiderstand zu erreichen, muss das Design von zusätzlichen Erdungsleitern aus Kupfer hinzugefügt werden.

Je nach Widerstand und Typ des Geländes (steinig), kann das Erdungsdesign variieren, sodass der Umfangselektrode Stangen oder den vorhandenen Ringen neue konzentrische Ringe hinzugefügt werden müssen.

Müssen Stangen für die Suche nach geringeren Widerständen hinzugefügt werden, müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Material: Kupfer mit einem Querschnitt von mindestens 15 mm bei massiver Ausführung und mindestens 20 mm bei einer Dicke von 2 mm, wenn sie rund sind. Diese Mindestmaße sind in der Norm IEC 62305-3 für Earth Rod die Elektroden vorgeschrieben.
- Das obere Stabende muss sich in einer Mindestdiefe von 1 m zur Bodenoberfläche befinden.
- Sie werden mit der Umfangselektrode verbunden, die sich in einem Abstand von einem Meter zur Außenseite befindet. Sie bestehen aus blanken Kupferleitern mit einem Mindestquerschnitt von 50 mm² (empfohlen sind 70 mm²), die innen aus einem Bündel mit einem Mindestdurchmesser pro Ader von 1,7 mm bestehen.
- Ihre Anzahl hängt vom Geländewiderstand und dem erhaltenen Erdungswert ab, aber die Verteilung ist stets symmetrisch im Verhältnis zur Umfangselektrode. Daher muss es sich immer um eine gerade Anzahl handeln, auch wenn mit der direkt niedrigeren ungeraden Anzahl die Sicherheitswerte gewährleistet werden.
- Bei der Installation werden sie ausgerichtet zu den gemessenen Stellen der Umfangselektrode in Quadrantform angebracht. Sind mehr Erdungsstäbe erforderlich sind, wird an den Scheitelpunkten fortgefahren.
- Ihre Länge hängt von der Härte und Zusammensetzung des Bodens ab. Die Mindesthöhe beträgt 4 m. Höhere Werte gewährleisten zwar niedrigere Kontaktwiderstände, allerdings kann dann nur schwer garantiert werden, dass sie beim Versenken nicht brechen.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Bei steinigem Untergrund kann das Gestein durchbohrt, die Bohrung mit leitfähigem Substrat gefüllt und verdichtet, und danach der Erdungsstab eingesetzt werden. An derartigen Standorten ist als Alternative die Verwendung zusätzlicher horizontaler Elektroden zulässig, so wie es in IEC 61400-24 und IEC 62305-3 empfohlen wird. Zudem können auch konzentrische Ringe verwendet werden, da Bereiche mit geringem elektrischen Widerstand in der Nähe der Bodenoberfläche liegen. Auf diesen Geländetypen gelten die Vorgaben für die Durchgangs- und Kontaktspannungen, sodass der Erdungswiderstand zweitrangig ist.

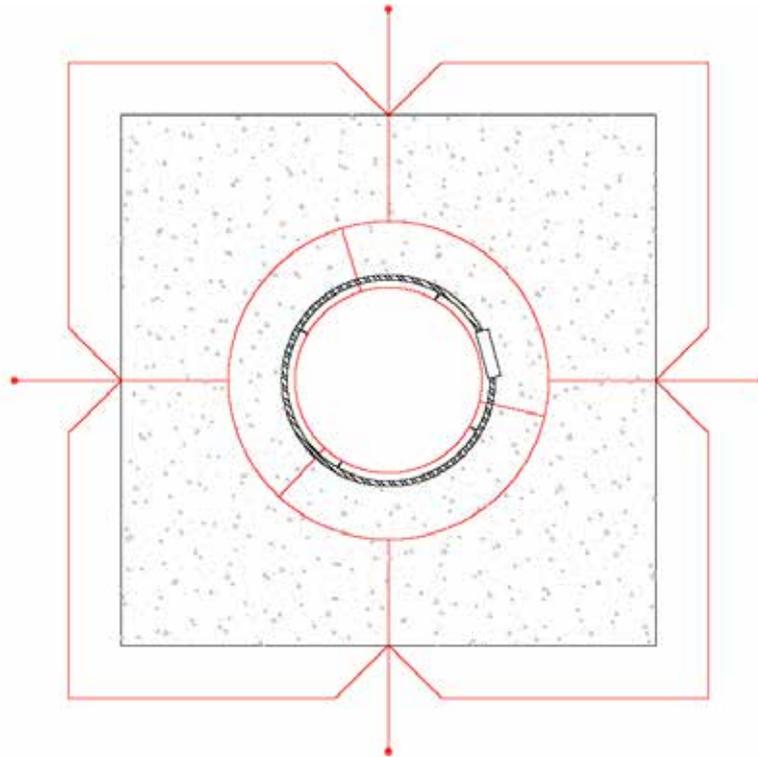


Abbildung 18. Vorschlag für den Anschluss zusätzlicher Erdungsstäbe

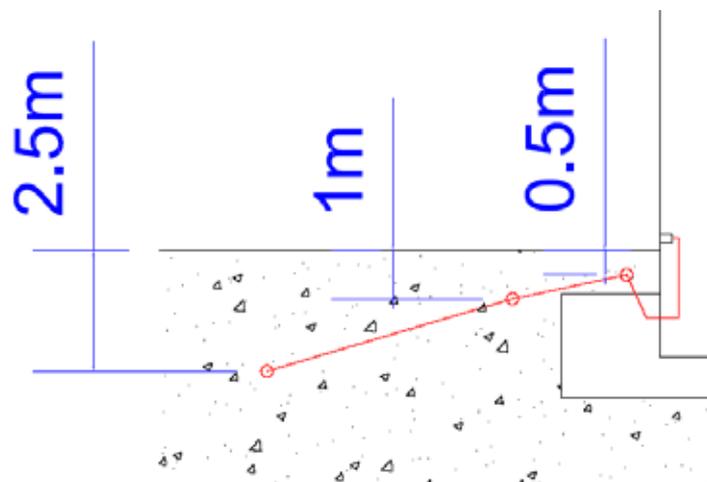


Abbildung 19. Tiefe der Zusatzelektrode im Boden

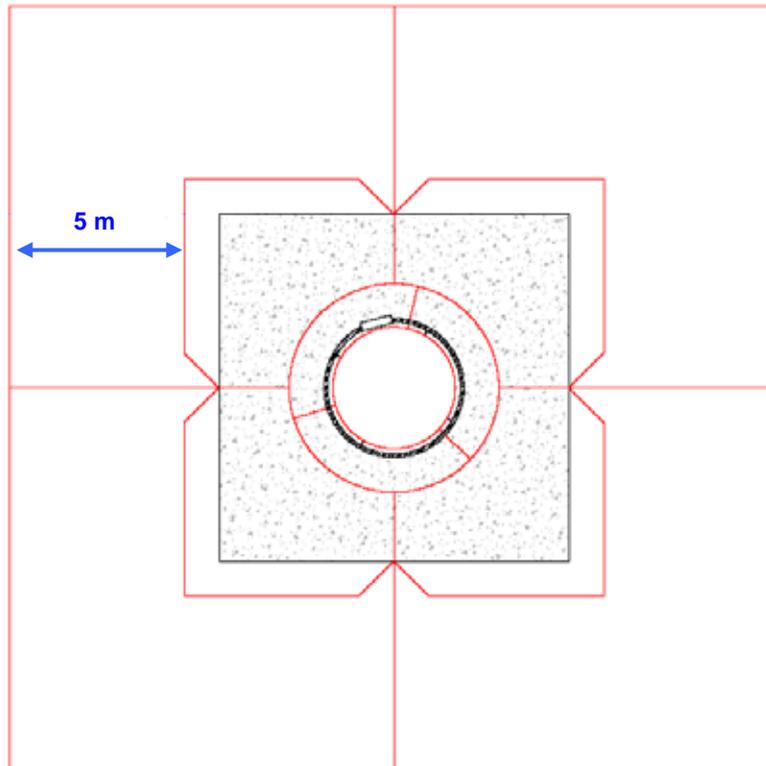
Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**


Abbildung 20. Vorschlag für Zusatzelektrode

Müssen Zusatzelektroden verwendet werden, um die Erdungswerte von 10Ω und die Sicherheits-Durchgangs- und Kontaktspannungen zu erreichen, werden diese 1,5 Meter tiefer als der darüber liegende Ring und in einem Abstand von 5 Meter zum Ring installiert (siehe Abschnitt 19 und 20).

5.3.2.9 Aktivanoden

Bei besonders steinigem Gelände müssen mindestens zwei Aktivanoden symmetrisch entlang der Umfangselektrode angeordnet werden, um die Erdungsanlage zu schützen.

Diese Aktivanoden müssen über Prüfschächte inspiziert werden.

5.3.2.10 Erdungsplatte an der Turmbasis

An der Turmbasis auf der Unterlage des Fundamentrings befindet sich die allgemeine Erdungsplatte, die die Leistung gleichmäßig auf alle Massen, Bildschirme und elektrischen Installationsanlagen (intern und extern) der Windenergieanlage und der Erdungsanlage überträgt.

Diese dient als Trennungspunkt, um Prüfungen z. B. an der Erdungsanlage vorzunehmen.

Die Erdungsplatte besteht aus Kupfer und misst $50 \times 10 \text{ mm}^2$ und ruht auf zwei Isolatoren von 1000 V, die auf der Betonunterlage des Fundaments liegen. Die einfachste Art, eine mechanische Verbindung mit der Unterlage herzustellen, besteht darin, zwei 50 mm tiefe Bohrungen in circa 100 mm Entfernung des inneren Potenzialausgleichsringes und möglichst nah an der rechten Seite der Zugangstreppe vorzunehmen, danach ein Kunststoffdübel oder Harz injizieren und im Anschluss die bereits mit den Plattenisolatoren verschraubten Schrauben einführen.

An dieser Stelle können die vorgenommenen Verbindungen einfach und ohne auf die Unterlage zu treten inspiziert werden. Zudem können die Längen der Schutzkabel der Gondel und der Windfarm gekürzt werden (falls eine Montage notwendig ist).

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

Die wichtigsten mit der allgemeinen Erdungsplatte verbundenen Stromkreise der Turmbasis sind:

- Innerer Potenzialausgleichsring.
- Schutzleiter der Windfarm (die Anzahl der Schutzleiter liegt zwischen je nach dem Standort der Windenergieanlage im Windpark).
- Schutzvorrichtungen der Mittelspannungszelle.
- Schutz der Schaltschränke an der Turmbasis (GROUND-Schrank).
- Kabelschirm der Mittelspannung.
- Gondelschutz. Die Installation richtet sich nach den Vorschriften der einzelnen Länder.

Die Schraubverbindungen werden entsprechend der in Abschnitt 5.3.2.1, Abbildung 5, beschriebenen Vorgaben erstellt.

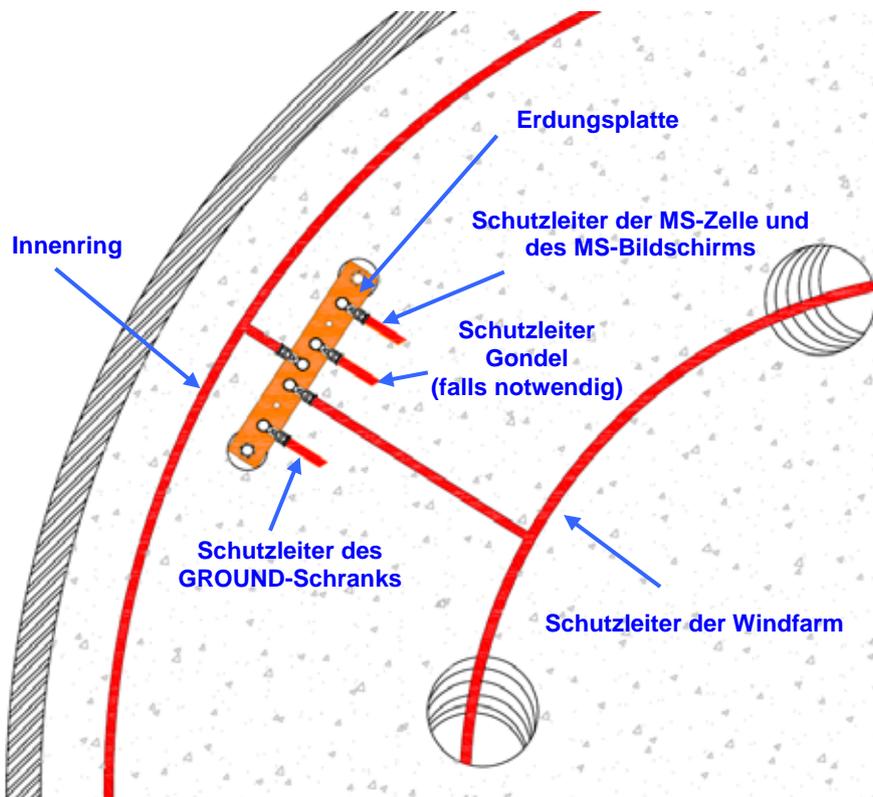


Abbildung 21. Detail der allgemeinen Sammelschiene der Windenergieanlage

5.3.3 Material der Elektroden

Als Material wird Kupfer verwendet, außer bei sauren, sauerstoff-, ammoniak- oder schwefelhaltigen Böden. Dort ist der Einsatz von Kupfer aufgrund des hohen Korrosionsgrads nicht gegeben, auch nicht mit Aktivanoden. In solchen Fällen müssen alternative Werkstoffe mit kompatibelem Querschnitt und Verhalten definiert werden.

5.3.4 Bauliche Merkmale

Die elektrischen Verbindungen zwischen dem inneren Potenzialausgleichsring, dem äußeren Potenzialausgleichsring, dem Umfangsring und den Zusatzelektroden erfolgt über Thermitschweißverbindungen.

Die Verwendung von Klammern ist aufgrund des Widerstands bei hohen Frequenzen und der niedrigen zulässigen Erhitzung nicht empfehlenswert. Die Schweißung ist bis zu einer Temperatur von 700°C stabil, Schraubverbindungen widerstehen nicht mehr als 250°C.

Titel: **Empfohlener Erdungsanschluss**

In jedem Fall müssen die im Abschnitt E.4.3.3 Schweißen bzw. Anklammern an den Stahlverstärkungsstangen, E.4.3.5 Korrosion und E.4.3.9 Fundament als Erdungsabschluss der IEC-Norm 62305-3 berücksichtigt werden.

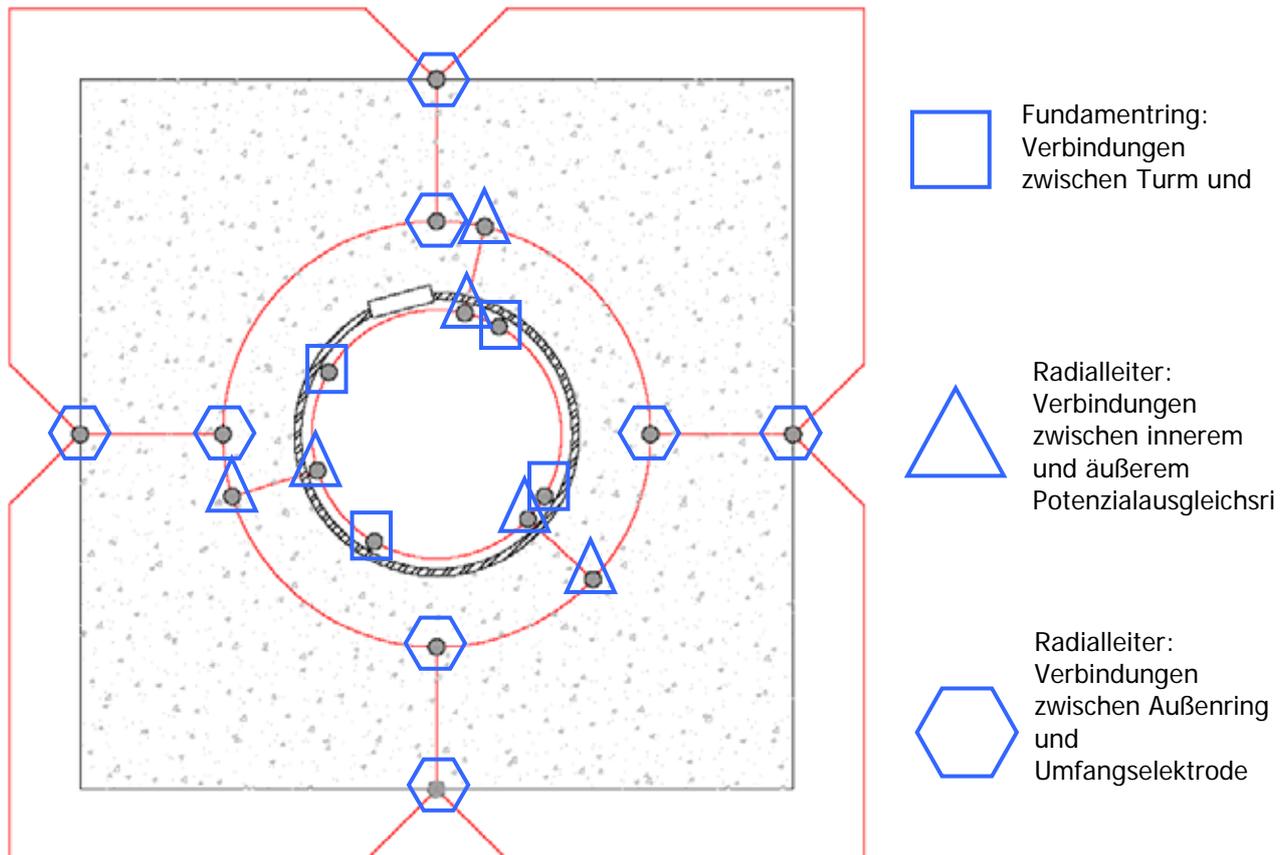


Abbildung 22. Position der Thermitschweißungen in einer Erdungsanlage vom Typ

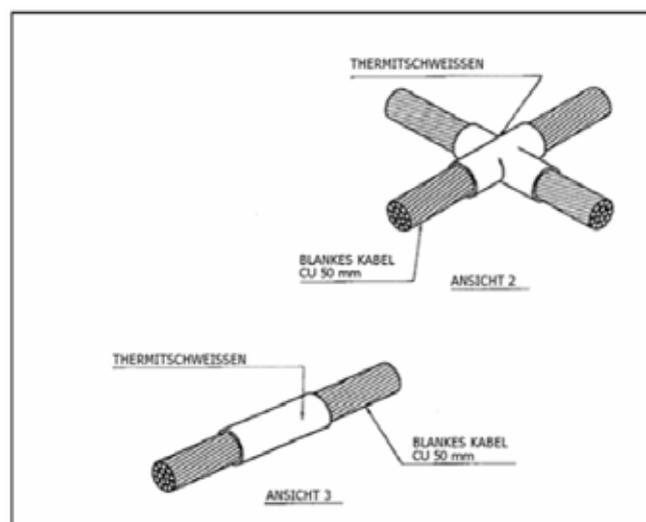


Abbildung 23. Detail der Umsetzung von Thermitschweißverbindungen

	HANDBUCH ALLGEMEINER MERKMALE	Code: GD051058-de	Änd: 12
		Datum: 07/05/18	Seite 25 von 25
Titel: Empfohlener Erdungsanschluss			

6 VORZUNEHMENDE PRÜFUNGEN DER INSTALLATIONEN DER ERDUNGSANLAGE

Zur Prüfung der korrekten Ausführung der Erdungsanlage müssen obligatorisch die Messungen der Durchgangs- und Kontaktspannungen an allen Installationen vorgenommen werden.

- Der Abschnitt 5.2.1 enthält die Referenzwerte, es sei denn, die örtlichen Vorschriften sind einschränkender.
- Sie werden an allen Windenergieanlagen einzeln ausgeführt.
- Bei den Versuchen ist der Schutzleiter der Windfarm immer abgenommen.
- Zu den Messungen der Durchgangs- und Kontaktspannungen wird die Methode Stromeinleitung mit Polaritätsumkehrung (gemäß IEEE Std 81.2) oder Wechselstrom angewendet. Im letzteren Fall ist die Frequenz größer als die Nennfrequenz des Stromnetzes:
 - Die Spannungsmessung wird mit einem Voltmeter mit einem internen Widerstand von eintausend Ohm ausgeführt.
 - Die Messelektroden zur Simulation der Füße müssen eine Fläche von jeweils 200 cm² aufweisen, und sie müssen einen Mindestdruck von jeweils 250 Nm auf den Boden ausüben.
 - Zur Simulation des Fehlerstroms werden geeignete Leistungsnetzteile verwendet, damit der eingeleitete Strom ausreichend hoch ist, und damit die Messungen nicht infolge von Streuströmen im Boden verfälscht werden.
 - Die eingeleitete Stromstärke sollte 1 % des Stroms betragen, für den die Erdungsanlage ausgelegt ist, und sie darf in keinem Fall kleiner als 5A sein.
- Weiterhin wird eine Prüfung des Erdungswiderstands durchgeführt, um den Wert unter 10 Ω zu überprüfen.

Für steinigtes Gelände müssen auf jeden Fall die Messungen der Durchgangs- und Kontaktspannungen an allen Erdungsinstallationen vorgenommen werden. Die Anforderung, dass die Erdung unter 10 Ω liegen muss, wird zweitrangig.

7 PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNGEN

Es müssen immer isolierte Schutzstiefel für elektrische Arbeiten getragen werden. Dies gilt auch für die Ausführung mechanischer Arbeiten oder ohne Spannung.

Grund hierfür ist, dass ein Widerstandsfehler unter Mittelspannung möglicherweise nicht von der Zelle der Transformationsstation bzw. der Unterstation abgeleitet wird, und über lange Zeit bestehen bleiben kann. Somit kann es vorkommen, dass die Arbeiter die Windenergieanlage mit latenter Durchgangsspannung betreten.

Die Sohlen der Stiefel müssen über eine Mindestisolierung von 3mm vernetztem Polyethylen verfügen (XLPE).

8 PRÜFUNGEN DER ANLAGE

Die regelmäßigen Erdungswartungsinspektionen richten sich standardmäßig nach IEC 61400-24.

- Die Erdungsanlagen werden mindestens einmal pro Jahr zur Überprüfung ihres Zustands visuell kontrolliert.
- Alle 2 Jahre wird eine komplette Inspektion des Erdungssystems vorgenommen.
- Die Messungen werden in den Sommermonaten vorgenommen.
- Es wird die gleiche Methode wie im Abschnitt 6 angewendet.
- Es wird ein Verzeichnis über die Messwerte geführt, um eine mögliche Zustandsverschlechterung der Anlage erkennen zu können.
- Bei der regelmäßigen Inspektion werden auch die Aktivanoden kontrolliert.
-

9 VERWANDTE DOKUMENTE

- [Ref 1] FT000110 Empfohlene Erdungsanlage für die Windenergieanlagen von GAMESA.
 [Ref 2] GD123954 Blitzschutz Betonturm.