

Dies Dokument ist eine Übersetzung (DE) des englischen Originaldokuments (0014-6511.V01). Die Übersetzung wurde beauftragt durch Vestas Central Europe.

Class 1

Document no.: 0014-6511 V01.2  
30.06.2011 (korrigiert am 26.10.2012)

# Vestas Erdungssystem

Beschreibung eines Erdungssystems für Ankerkorbfundamente

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
1.1	Zugehörige Dokumente .....	4
1.2	Liste der IEC-Normen .....	4
1.3	Grundlegende Konstruktionskriterien und Voraussetzungen.....	4
1.3.1	Blitzschutz .....	5
1.3.2	Mittelspannung .....	5
<b>2</b>	<b>Haupterdungsschiene</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Blitzschutzerdungssystem</b> .....	<b>9</b>
3.1	Verweis auf IEC-Normen .....	9
3.2	Systembeschreibung .....	10
3.3	Aufbau und Konstruktion.....	11
<b>4</b>	<b>Erdungssystem für Niederspannung</b> .....	<b>12</b>
4.1	Verweis auf IEC-Normen .....	12
4.2	Systembeschreibung .....	12
4.3	Aufbau und Konstruktion.....	13
4.4	Haftung und Verantwortlichkeit .....	13
<b>5</b>	<b>Erdungssystem für Mittelspannung</b> .....	<b>13</b>
5.1	Verweis auf IEC-Normen .....	13
5.2	Systembeschreibung .....	13
5.3	Aufbau und Konstruktion.....	15
<b>6</b>	<b>Erdung während der Windenergieanlagen-Montage</b> .....	<b>16</b>

## 1 Vorwort

Das Vestas Erdungssystem besteht aus einzelnen Erdungselektroden, die zu einem gemeinsamen Erdungssystem verbunden sind.

In diesem Dokument werden das Erdungssystem und der Hintergrund für ein Ankerkorbfundament beschrieben

Das Vestas Erdungssystem ist als Sicherheitserdung und Funktionserdung konzipiert.

Das Vestas Erdungssystem besteht aus den folgenden Untersystemen:

- Mittelspannungssystem
- Niederspannungssystem
- Blitzschutzsystem
- Fundamenterdung
- Erdung zwischen Windenergieanlagen.

Bezüglich des Blitzschutzes der Windenergieanlage fordert Vestas für dieses System keinen bestimmten Widerstand zur Bezugserde. Die Erdung der Blitzschutzsysteme basiert auf dem Aufbau und der Konstruktion des Vestas Erdungssystems.

Ein Teil des Vestas Erdungssystems ist die Haupterdungsschiene, die sich am Kabeleintritt aller Zuleitungen zur Windenergieanlage befindet. Die Erdungselektroden werden mit der Haupterdungsschiene verbunden. Zusätzlich sind Potenzialausgleichsverbindungen an allen Zu- oder Ableitungen der Windenergieanlage installiert.

Die Spezifikationen und die Arbeitsanweisung für das Vestas Erdungssystem entsprechen den Mindestanforderungen von Vestas und den IEC-Normen. Örtliche und nationale Anforderungen können zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen.

Wenn aus irgendeinem Grund die Entfernung zwischen den Windenergieanlagen und dem Umspannwerk den Einsatz doppelter Verbindungen, wie in Abschnitt 1.3.2 Mittelspannung, S.5, dargestellt, nicht erlaubt, sind die Anforderungen an das Vestas Erdungssystem nicht erfüllt. Die Konstruktion und die Konstruktionsgrundsätze, die in diesem Dokument beschrieben werden, sind unwirksam. Vestas haftet nicht für die Auslegung des Erdungssystems.

Wenn das Vestas Erdungssystem in irgendeiner Weise geändert wird, muss durch Fallstudien sichergestellt werden, dass die alternative Konstruktion ausreichend Schutz für die Windenergieanlagen durch Sicherheitserdung und Funktionserdung bietet. Die Konstruktion muss geltende örtliche, nationale und Projektanforderungen einhalten.

## 1.1 Zugehörige Dokumente

Dokumentennr.	Titel
0019-2575	Vestas Erdungssystem - Fundamenterdung - Arbeitsanweisung für die Fundamenterdung für Ankerkorbfundamente
0019-2576	Qualitätskontrolle der Fundamenterdung, Ankerkorbfundament
961635	Erdung zwischen Windenergieanlagen. Arbeitsanweisung für die Erdung zwischen Windenergieanlagen
960451	Qualitätskontrolle der Erdung zwischen Windenergieanlagen
961636	Potenzialausgleichsverbindungen bei Kabeln. Arbeitsanweisung für die Montage von Potenzialausgleichsverbindungen von Kabeln, die in Windenergieanlagen eingeführt werden.

Tabelle 1-1: Erforderliche Dokumentation.

## 1.2 Liste der IEC-Normen

Die Konstruktion des Vestas Erdungssystems basiert auf und entspricht den Anforderungen der folgenden internationalen Normen und Richtlinien:

- IEC 61400-24. Wind turbines - Part 24: Lightning protection (Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz).
- IEC 60364-5-54. Zweite Ausgabe. 06/2002. Electrical installations of buildings - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-54: Auswahl und Aufstellung von elektrischer Ausrüstung - Erdung, Schutzleiter und Potenzialausgleichsleiter).
- IEC 61936-1. Erstausgabe. 10/2002. Power installations exceeding 1kV a.c.- Part 1: Common rules (Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Regeln).

## 1.3 Grundlegende Konstruktionskriterien und Voraussetzungen

In den folgenden Unterkapiteln werden die grundlegenden Konstruktionskriterien und Voraussetzungen beschrieben, mit denen Vestas Wind Systems A/S die Anforderungen der spezifischen Normen erfüllt.

Die Normen erlauben verschiedene Möglichkeiten, die ausgewählt werden können, um festzulegen, wie die Norm erfüllt wird.

### 1.3.1 Blitzschutz

Das Erdungssystem ist bezüglich der Blitzschutzanlage und die Windenergieanlagen auf einer „Typ B-Anordnung“ aufgebaut, gemäß IEC 61400-24 Wind turbine - Part 24: Lightning protection (Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz).

Auf der Grundlage der Normen besteht das Vestas Erdungssystem aus einer Einheit für die Fundamenterde und mindestens zwei horizontalen Erdungselektroden (Verbindungskabel).

Die Normen fordern bezüglich des Blitzschutzes in diesem Erdungssystem keinen Mindestwiderstand zur Bezugserde. Basierend auf der Erfüllung der oben genannten Anforderungen spielen die Bodenverhältnisse um die Windenergieanlage und dem Fundament zwar keine Rolle, entscheidend ist aber die Ausdehnung von Fundament und zusätzlichen horizontalen Erdungselektroden.

Maßnahmen zum Schutz von Personen vor Verletzungen durch Berührungs- oder Schrittspannungen gemäß IEC 61400-24 werden durch die folgenden Maßnahmen abgedeckt:

- Die Ableitungen in der Windenergieanlage sind so ausgelegt, dass die Berührungsspannung auf einem vertretbaren Niveau gehalten wird, um Personen vor Verletzungen zu schützen. Die Ableitungen der Blitzschutzanlage bestehen aus dem gesamten Turmaufbau (natürliche Ableitung), der praktisch einen großen, umfassenden Metallrahmen darstellt.
- Durch Potenzialausgleich der Konstruktionen und der umgebenden Erde mittels eines vermaschten Erdungssystems wird die Schrittspannung auf einem unbedenklichen Niveau realisiert, um Personen vor Verletzungen zu schützen. Bei dieser Konstruktion wird dies durch Anschluss des gemeinsamen Erdungssystems mit allen Stahlstäben im Fundament an die Erdverbindungskabel zwischen den Windenergieanlagen erreicht.

### 1.3.2 Mittelspannung

Das Erdungssystem für Mittelspannung für Windenergieanlagen ist ein mehrfach geerdetes System (umfassendes Erdungssystem) gemäß IEC 61936-1. Erste Ausgabe 10/2002. Power installations exceeding 1kV a.c.- Part 1: Common rules (Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Regeln).

Das Erdungssystem für Mittelspannung wird als mehrfach geerdetes System bezeichnet, da alle Windenergieanlagen und Umspannwerke über Erdverbindungskabel und konzentrische Kabelschirme oder Erdungskabel miteinander verbunden sind. Dieses bildet einen Teil der Mittelspannungskabel, die ebenfalls mit den Windenergieanlagen dem Umspannwerk verbunden sind.

Durch diese doppelten Verbindungen aller Windenergieanlagen und des Umspannwerks im gleichen Netz ist das Erdungssystem als Rückleitung für Kurzschlussströme im Stromnetz nicht abhängig von der Erde bzw. dem Boden.

Aufgrund dieser Annahme sind die Bodenverhältnisse um die Windenergieanlage und der Widerstand zur Bezugserde des Erdungssystems nicht relevant, da alle Kurzschlussströme durch direkte Verbindungen bekannter Auslegung und Längen abgewickelt werden.

## 2 Haupterdungsschiene

Eine Haupterdungsschiene wird im Turmfuß installiert. Alle Erdungsverbindungen werden direkt mit dieser Schiene verbunden. Zusätzlich werden Potenzialausgleichsverbindungen an allen Kabeln oder Kabelschirmen direkt nach Eintritt der Kabel in die Windenergieanlage installiert.

Die Potenzialausgleichsverbindungen an allen Kabeln sichern die Einhaltung der strikten Vorgehensweise im Blitzschutzkonzept, das Grundlage der gesamten Blitzschutzanlage für Vestas Windenergieanlagen gemäß IEC-Normen ist. Die Verbindungen werden darüber hinaus auch durchgeführt, um große Stromschleifen im Turm zu vermeiden, die zu gefährlichen Induktionsspannungen in der Steuerung der Windenergieanlage führen können.

Die Haupterdungsschiene wird direkt an den Grundrahmen auf der Rückseite der Schaltanlage, die direkt auf die Fundamentsektion des Turms montiert ist, geschraubt. Die Haupterdungsschiene ist direkt mit dem Turm und allen anderen Metallteilen der Windenergieanlage über zwei 50 mm<sup>2</sup> starke Kupfererdungskabel verbunden.

Die Anordnung der Haupterdungsschiene ist in Abbildung 2-1, S. 6 dargestellt. Die Abmessungen der Haupterdungsschiene sind in Abbildung 2-5, S. 8 dargestellt.

Die Schaltanlage ist in drei Versionen verfügbar: mit zwei, drei und vier Konsolen. Die Montage der Haupterdungsschiene an den drei verschiedenen Versionen ist in Abbildung 2-2, S. 7, Abbildung 2-3, S. 7 und Abbildung 2-4 S. 7, dargestellt.

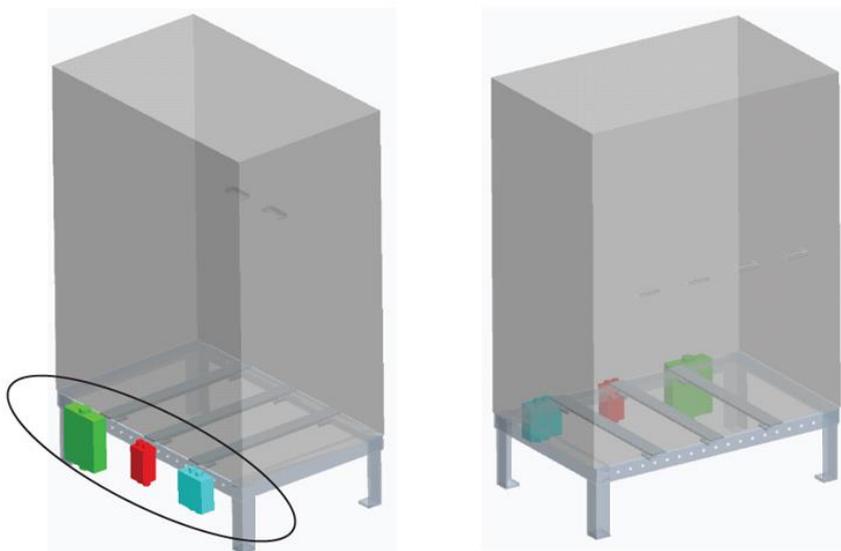


Abbildung 2-1: Platzierung der Haupterdungsschiene auf der Rückseite der Schaltanlage.



Abbildung 2-2: Auf der Rückseite eines Grundrahmens mit vier Konsolen montierte Haupterdungsschiene.



Abbildung 2-3: Auf der Rückseite eines Grundrahmens mit drei Konsolen montierte Haupterdungsschiene.



Abbildung 2-4: Auf der Rückseite eines Grundrahmens mit zwei Konsolen montierte Haupterdungsschiene.

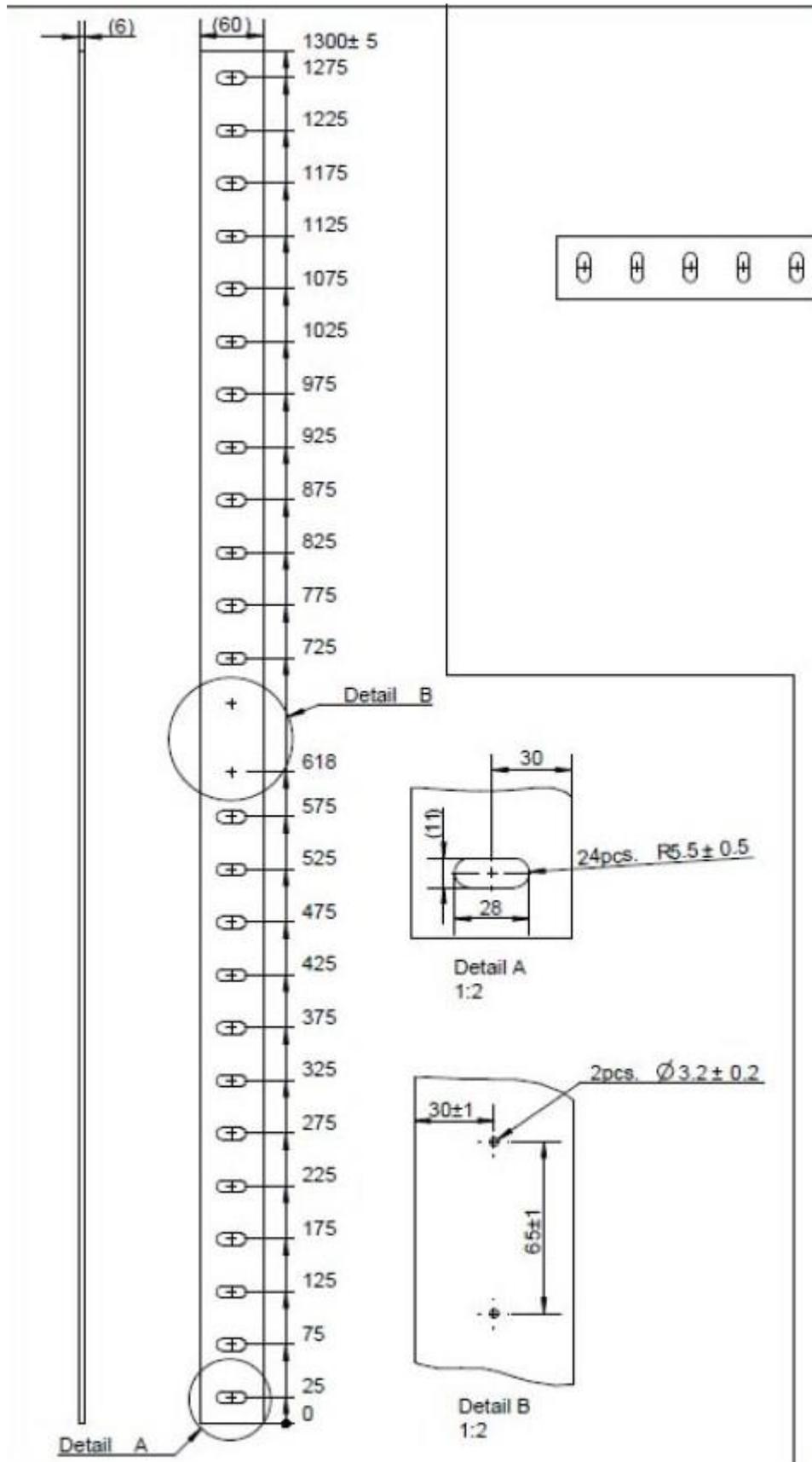


Abbildung 2-5: Abmessungen der Haupterdungsschiene.

Kabelschirme oder konzentrischer Erdungsdraht in allen Mittelspannungskabeln, die in den Turm führen, werden mit der Haupterdungsschiene verbunden. Sie werden direkt am Eintrittspunkt angeschlossen, es sei denn, die Schaltanlage befindet sich auf der unteren Bodenplatte am Eintrittsort der Mittelspannungskabel.

Lichtwellenleiterkabel mit Metallkabelschirmen und anderen metallischen Komponenten sind auch direkt mit der Haupterdungsschiene am Eintrittspunkt verbunden.

Alle konventionellen Kupfersignal-, Kupfersteuer- oder Kupferkommunikationskabel müssen in die Windenergieanlage über Überspannungsableiter führen, die in einem Potenzialausgleichskasten direkt an der Haupterdungsschiene verbunden werden.

Alle Niederspannungskabel, die in die Windenergieanlage führen (nicht das Hauptleistungskabel, aber die Versorgung für die Wetterstation, Außenbeleuchtung, Antennen usw.), müssen über Überspannungsableiter in einem Potenzialausgleichskasten in die Windenergieanlage geführt werden. Dieser Kasten enthält Überspannungsableiter für die Stromversorgungskabel, die in die Windenergieanlage hinein- oder aus dieser herausführen. Die Anzahl der Potenzialausgleichskästen ist abhängig von der Anzahl der Kabel, die in die Windenergieanlage führen.

Eine ausführliche Beschreibung, wie die Kabel und Kabelschirme mit der Haupterdungsschiene verbunden werden, enthält Dokument 961636 „Vestas Erdungssystem – Potenzialausgleichsverbindungen bei Kabeln“.

Lichtwellenleiterkabel ohne metallische Komponenten, die von Vestas freigegeben sind, können in die Windenergieanlage führen, ohne dass sie mit der Haupterdungsschiene verbunden werden müssen.

### 3 Blitzschutzerdungssystem

#### 3.1 Verweis auf IEC-Normen

Die Konstruktion des Vestas Erdungssystems basiert auf und entspricht den folgenden internationalen Normen und Richtlinien in Bezug auf Blitzschutzerdungsanlagen:

- IEC 61400-24. Wind turbines - Part 24: Lightning protection (Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz).

Vestas stellt ein genehmigtes Erdungssystem für Ankerkorbfundamente mit Stahlrohrtürmen zur Verfügung.

Die Konstruktionsdokumentation umfasst:

- ein Dokument, das die Fundamenterdung an jedem Windenergieanlagen-Standort beschreibt
- ein Dokument, das die Erdung zwischen den Windenergieanlagen und/oder einem Umspannwerk beschreibt
- ein Dokument, das die Potenzialausgleichsverbindungen aller Kabel, die in eine Windenergieanlage führen, beschreibt und

- ein Dokument, das die Anforderungen an ein gesamtes Vestas Erdungssystem beschreibt.

### 3.2 Systembeschreibung

Das im Vestas Erdungssystem enthaltene Blitzschutzsystem besteht aus den folgenden drei einzelnen Erdungseinheiten:

- Die Fundamenterdung
- Die Erdverbindungskabel (horizontale Erdungselektrode) für eine einzelne Windenergieanlage
- Die verbundenen Erdverbindungskabel in einem Windpark oder in einem Stromnetz

Die beiden horizontalen Erdungselektroden sollen in verschiedene Richtungen bei einem Winkel von mindestens 90 Grad laufen. Der Abstand zwischen den Windenergieanlagen muss mindestens 80 Meter betragen. Nur die ersten 80 Meter der zwischen den Windenergieanlagen verlaufenden Erdverbindungskabel tragen positiv zur Erdung von Hochfrequenzblitzströmen bei.

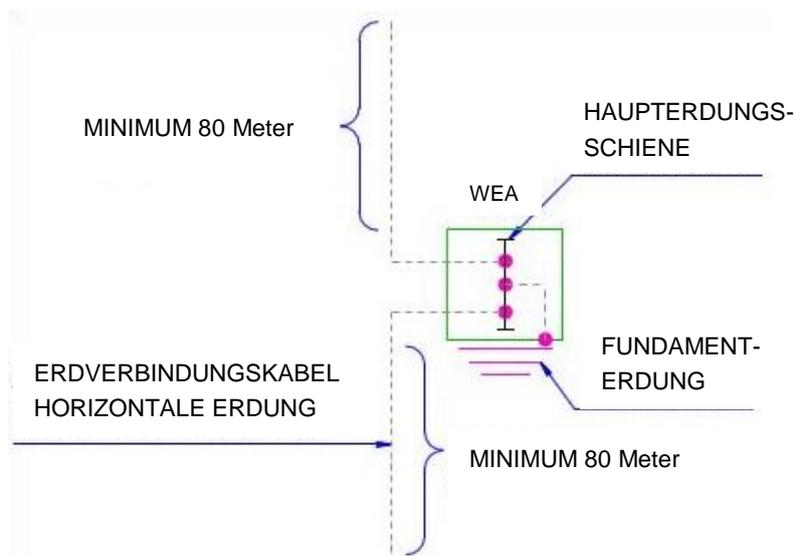


Abbildung 3-1: Prinzipdarstellung des Vestas Erdungssystems.  
(Zeichnungsnummer 934675)

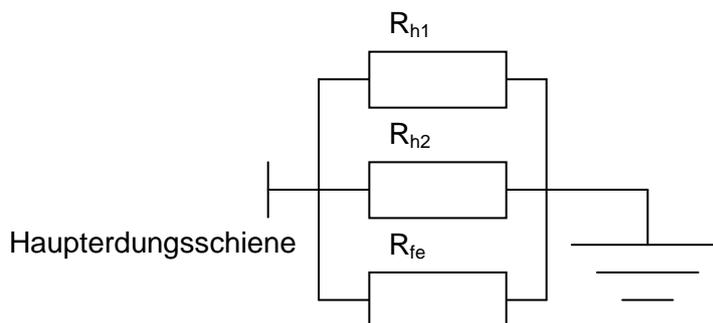


Abbildung 3-2: Ersatzschaltbild des Vestas Erdungssystems.

- $R_{h1}$  Horizontale Erdung 1.  
 $R_{h2}$  Horizontale Erdung 2.  
 $R_{fe}$  Fundamenterdung

### 3.3 Aufbau und Konstruktion

Das Vestas Erdungssystem ist als „Typ B-Anordnung“ ausgelegt und basiert auf einer Fundamenterdung und mindestens zwei ergänzenden horizontalen Erdungselektroden. Die Erdungselektroden haben eine Mindestlänge von 40 Metern. Daher bestehen bezüglich des Blitzschutzes in diesem System keine Anforderungen an einen bestimmten Mindestwiderstand zur Bezugserde. Zuweilen fordern lokale Anforderungen aus anderen Gründen einen bestimmten Mindestwiderstand zur Bezugserde. Dieser Punkt wird später beschrieben.

Die Leiter in diesem System bestehen aus unisolierten 50-mm<sup>2</sup>-Kupferdrahtkabeln und Stahlbewehrungsstäben im Betonfundament. Alle Verbindungen in diesem System werden doppelt ausgeführt.

Alle Teile des Erdungssystems haben das gleiche galvanische Potenzial. Auf diese Weise tritt keine galvanische Korrosion im Erdungssystem auf, vorausgesetzt, dass nur in der Arbeitsanweisung von Vestas spezifizierte Teile in diesem System verwendet werden.

Zusätzliche Erdungselektroden können außerhalb des Fundaments der Windenergieanlage an das System angeschlossen werden. Diese zusätzlichen Erdungselektroden oder Leiter müssen jedoch zum Schutz vor Korrosion aus Kupfer und/oder Edelstahl bestehen.

Die 50-mm<sup>2</sup>-Kupferdrahtkabel (AWG 1/0), die in das stahlarmierte Betonfundament eingebettet sind, werden alle 5 Meter entlang des Erdungskabels mit Kabelklemmen verbunden, damit eine sichere Verbindung zwischen dem Kupfererdungskabel und den kreuzenden Stahlbewehrungsstäben gewährleistet wird. Das Kupfererdungskabel wird weiterhin an allen kreuzenden Stahlbewehrungsstäben mit Stahldrahtverbindern befestigt.

#### HINWEIS

In den folgenden Dokumenten wird die Fundamenterdung bei Windenergieanlagen beschrieben:

- 0019-2575 Vestas Erdungssystem – Fundamenterdung – Arbeitsanweisung für die Fundamenterdung für Ankerkorbfundamente

---

0019-2576 Qualitätskontrolle der Fundamenterdung, Ankerkorbfundament.

---

**HINWEIS** In den folgenden Dokumenten wird die Erdung zwischen den Windenergieanlagen beschrieben:

961635 Vestas Erdungssystem – Erdung zwischen Windenergieanlagen – Arbeitsanweisung für die Erdung zwischen Windenergieanlagen.

960451 Qualitätskontrolle der Erdung zwischen Windenergieanlagen

---

**HINWEIS** Für eine ausführliche Beschreibung der Potenzialausgleichsverbindungen bei Kabeln zu einer Windenergieanlage siehe 961636 „Vestas Erdungssystem – Potenzialausgleichsverbindungen bei Kabeln“.

---

Diese Beschreibungen enthalten auch die Mindestanforderungen zur Prüfung während und nach den Montagearbeiten.

Alle Erdungsverbindungen und Ableitungen werden mit der Haupterdungsschiene im Turmfuß verbunden. Alle Zuleitungskabel (Kabelschirme) werden auch mit der Haupterdungsschiene verbunden.

Alle metallischen Teile in und in unmittelbarer Reichweite der Windenergieanlage sind miteinander verbunden und mit dem Fundamenterdungssystem verbunden. Daher werden alle Teile und die umgebende Erde auf das gleiche Potenzial gehoben, wenn im Erdungssystem Ströme auftreten. Wenn alle metallischen Teile und die umgebende Erde auf das gleiche Potenzial gehoben werden, kann keine Berührungsspannung oder Schrittspannung entstehen.

## 4 Erdungssystem für Niederspannung

### 4.1 Verweis auf IEC-Normen

Die Konstruktion des Vestas Erdungssystems basiert auf und entspricht den folgenden internationalen Normen in Bezug auf Niederspannungssysteme:

- IEC 60364-5-54. Zweite Ausgabe. 06/2002. Electrical installations of buildings - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-54: Auswahl und Aufstellung von elektrischer Ausrüstung - Erdung, Schutzleiter und Potenzialausgleichsleiter).

### 4.2 Systembeschreibung

Das Vestas Erdungssystem für die Niederspannungsanlage in der Windenergieanlage entspricht der Beschreibung in Abschnitt 3.2 Systembeschreibung, S. 10.

## 4.3 Aufbau und Konstruktion

Der Aufbau und die Konstruktion des Vestas Erdungssystems für die Niederspannungsanlage bei Windenergieanlagen entspricht der Beschreibung in Abschnitt 3.3 Aufbau und Konstruktion, S. 11.

## 4.4 Haftung und Verantwortlichkeit

Vestas hat keinerlei Verantwortlichkeit, Erdungssysteme zu prüfen und abzunehmen, die von der Konstruktion des Vestas-Erdungssystems abweichen. Vestas lehnt jegliche Haftung für Konstruktionen, die von der Vestas-Konstruktion des Erdungssystems abweichen, ab.

## 5 Erdungssystem für Mittelspannung

### 5.1 Verweis auf IEC-Normen

Die Konstruktion des Vestas Erdungssystems basiert auf und entspricht den folgenden internationalen Normen in Bezug auf Mittelspannungssysteme:

- IEC 61936-1. Erstausgabe. 10/2002. Power installations exceeding 1kV a.c.- Part 1: Common rules (Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Regeln).

### 5.2 Systembeschreibung

Das Vestas Erdungssystem für Mittelspannung entspricht bei allen Windenergieanlagen der Beschreibung in Abschnitt 3.2 Systembeschreibung, S. 10. Jede Windenergieanlage und jedes Umspannwerk sind außerdem über ein Erdverbindungskabel miteinander verbunden, wie in Abbildung 5-1, S. 14 und Abbildung 5-2, S. 15 dargestellt.

Dieses Erdverbindungskabel ist sowohl Teil des Erdungssystems als auch Teil des Blitzschutzes der Mittelspannungskabel. Die Kabel verlaufen zwischen den einzelnen Windenergieanlagen und zwischen Windenergieanlagen und Umspannwerken.

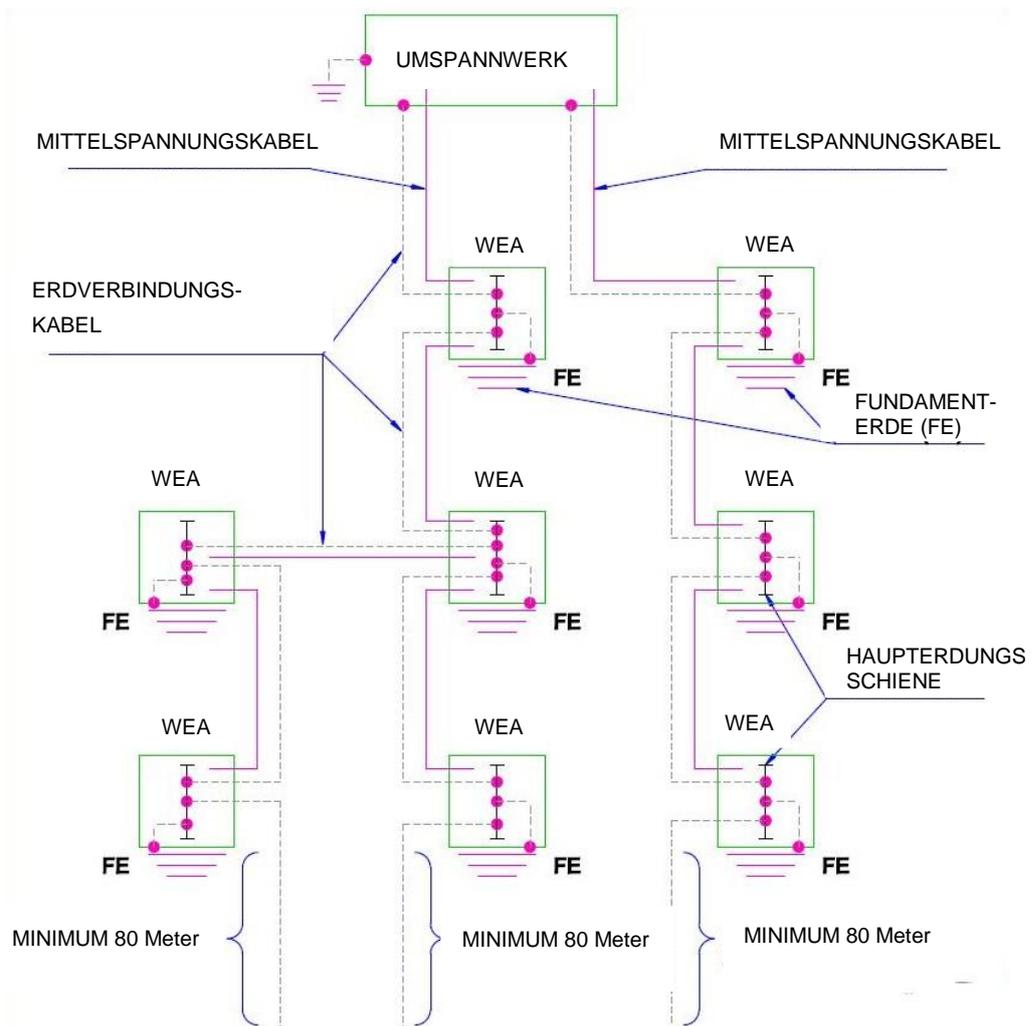


Abbildung 5-1: Prinzipdarstellung eines Erdungssystems in einem Stromnetz (Transformator und Schaltanlage in der Windenergieanlage). (Zeichnungsnummer 934668)

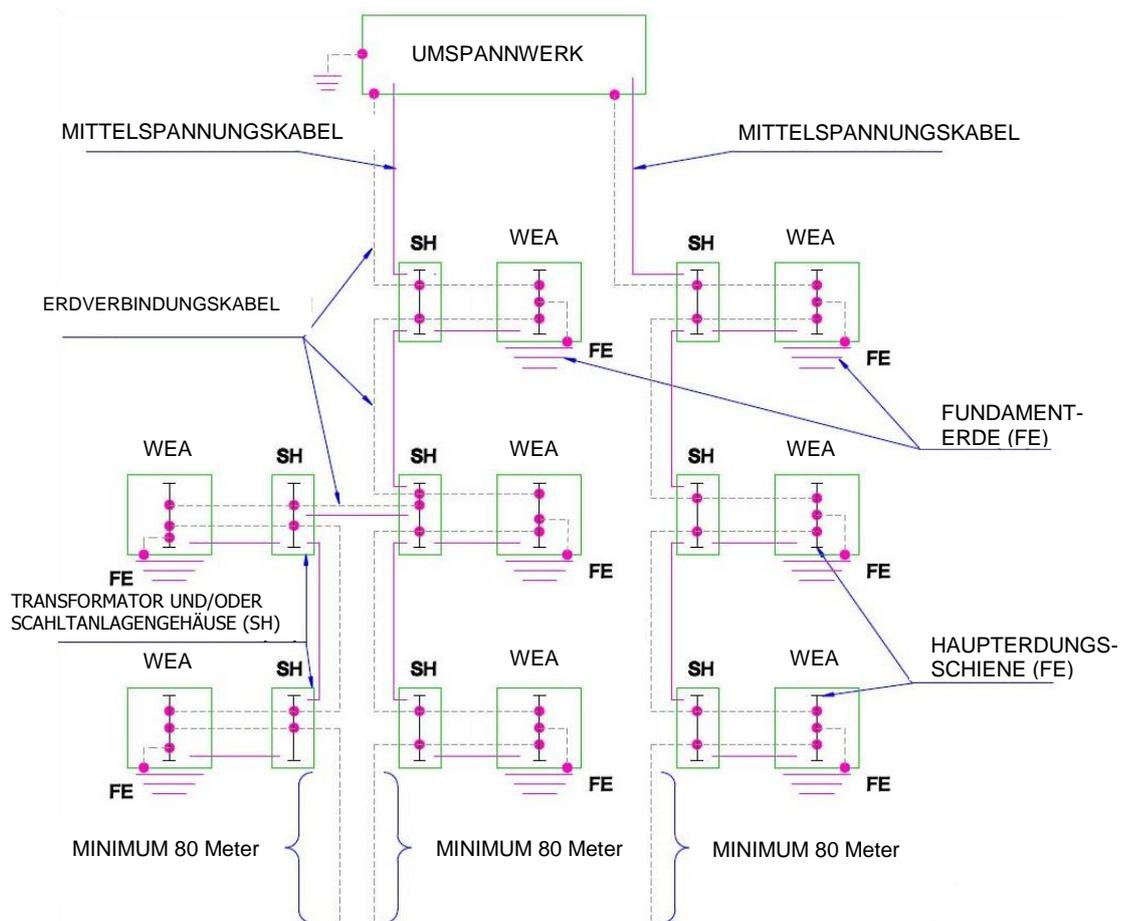


Abbildung 5-2: Prinzipdarstellung eines Erdungssystems in einem Stromnetz (Transformator und/oder Schaltanlage außerhalb der Windenergieanlage). (Zeichnungsnummer 934671)

### 5.3 Aufbau und Konstruktion

Der Aufbau und die Konstruktion des Vestas Erdungssystems der Mittelspannungsanlage in einer Windenergieanlage entspricht der Beschreibung in Abschnitt 3.3 Aufbau und Konstruktion, S. 11. Zusätzlich besteht das System aus unisolierten 50-mm<sup>2</sup>-Erdverbindungskabeln (AWG 1/0), die die Windenergieanlagen und wenn möglich das Umspannwerk miteinander verbinden.

Zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Schritt- und Berührungsspannung um den Turm und/oder das Schaltanlagen-/Transformatorhaus können auf der Basis von Berechnungen der Erdanschlussströme erforderlich sein. Zusätzliche Erdungselektroden zur Reduzierung der Schritt- und Berührungsspannung können an das Vestas Erdungssystem außerhalb des Fundaments angeschlossen werden. Es dürfen nur Erdungselektroden aus Kupfer bzw. Edelstahl verwendet werden, um Korrosion zu vermeiden.

## 6 Erdung während der Windenergieanlagen-Montage

Sobald die Erdverbindungskabel mit der Haupterdungsschiene verbunden sind, kann die Fundamenterdung als vorläufige Erdung bei der Montage der Windenergieanlage eingesetzt werden. Die Erdung erfolgt durch Anschluss an die Haupterdungsschiene.

Dieses Verfahren gilt entsprechend für alle Teile der Windenergieanlage: Rotorblatt, Rotor, Maschinenhaus, Turmsektionen usw. Dabei sollen statische Entladungen bei der Montage der Teile an der Windenergieanlage vermieden werden.

Die Fundamenterdung kann auch verwendet werden, wenn für einen Generatorsatz eine Zwischenerdung erforderlich ist.