

Technische Beschreibung

ENERCON Windenergieanlagen
Blitzschutz

Herausgeber ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
 Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
 E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
 Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Nicole Fritsch-Nehring
 Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D0260891-4		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2016-03-16	de	DA	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	4
2	Äußerer Blitzschutz	5
2.1	Übersicht des äußeren Blitzschutzes	5
2.2	Rotorblatt	6
2.3	Gondel	7
2.4	Turm	9
2.5	Fundament.....	12
2.5.1	Ausführung	12
2.5.2	Erdung im Betonturmfundament	13
2.5.3	Erdung im Stahlturmfundament.....	14
3	Innerer Blitzschutz	15
4	Zugrundeliegende Normen	16
	Quellenverzeichnis	17

1 Allgemeines

Blitzeinschläge können Teile von Gebäuden in Brand setzen und zerstören. Zudem können die hohen Ströme direkt durch leitende Verbindungen oder durch Induktion ins Gebäudeinnere übertragen werden und dort zu weiteren Beschädigungen führen. Windenergieanlagen sind aufgrund ihrer exponierten Lage besonders gefährdet.

Um mögliche Schäden durch Blitzeinschläge zu vermeiden und einen sicheren Anlagenbetrieb zu gewährleisten, werden ENERCON Windenergieanlagen mit einem Blitzschutz ausgestattet. Ein Blitzstrom wird dabei von den Rotorblättern oder der Gondeloberseite bis ins Erdreich abgeleitet.

Im Folgenden werden der Aufbau und die Funktion des Blitzschutzes der ENERCON Windenergieanlagen im Überblick dargestellt.

Äußerer Blitzschutz

Zum äußeren Blitzschutz gehören alle Maßnahmen, die zur Verhinderung von Beschädigungen der Windenergieanlagen durch Blitzeinschläge getroffen werden. Fangeinrichtungen an den Rotorblättern, Ableitungen, die Erdungsanlage und anlagenspezifische Metallteile sind Bestandteile des äußeren Blitzschutzes. Der äußere Blitzschutz reduziert zudem die durch Blitzströme erzeugten Störfelder im Inneren der Windenergieanlagen. Das Eindringen größerer Blitzteilströme wird verhindert.

Innerer Blitzschutz

Zum Schutz der elektrischen und elektronischen Einrichtungen sind weitere Maßnahmen ergriffen worden, die als innerer Blitzschutz bezeichnet werden. Hierzu zählen ein Potentialausgleichssystem sowie verschiedene Überspannungsschutzgeräte (SPD).

Gefährdungspegel – Lightning Protection Level (LPL)

Der LPL wird von IV (niedrig) bis I (hoch) eingestuft. Die für LPL I geltenden Höchstwerte der Blitzstromparameter werden mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % nicht überschritten. Alle ENERCON Windenergieanlagen sind für LPL I ausgelegt.

2 Äußerer Blitzschutz

2.1 Übersicht des äußeren Blitzschutzes

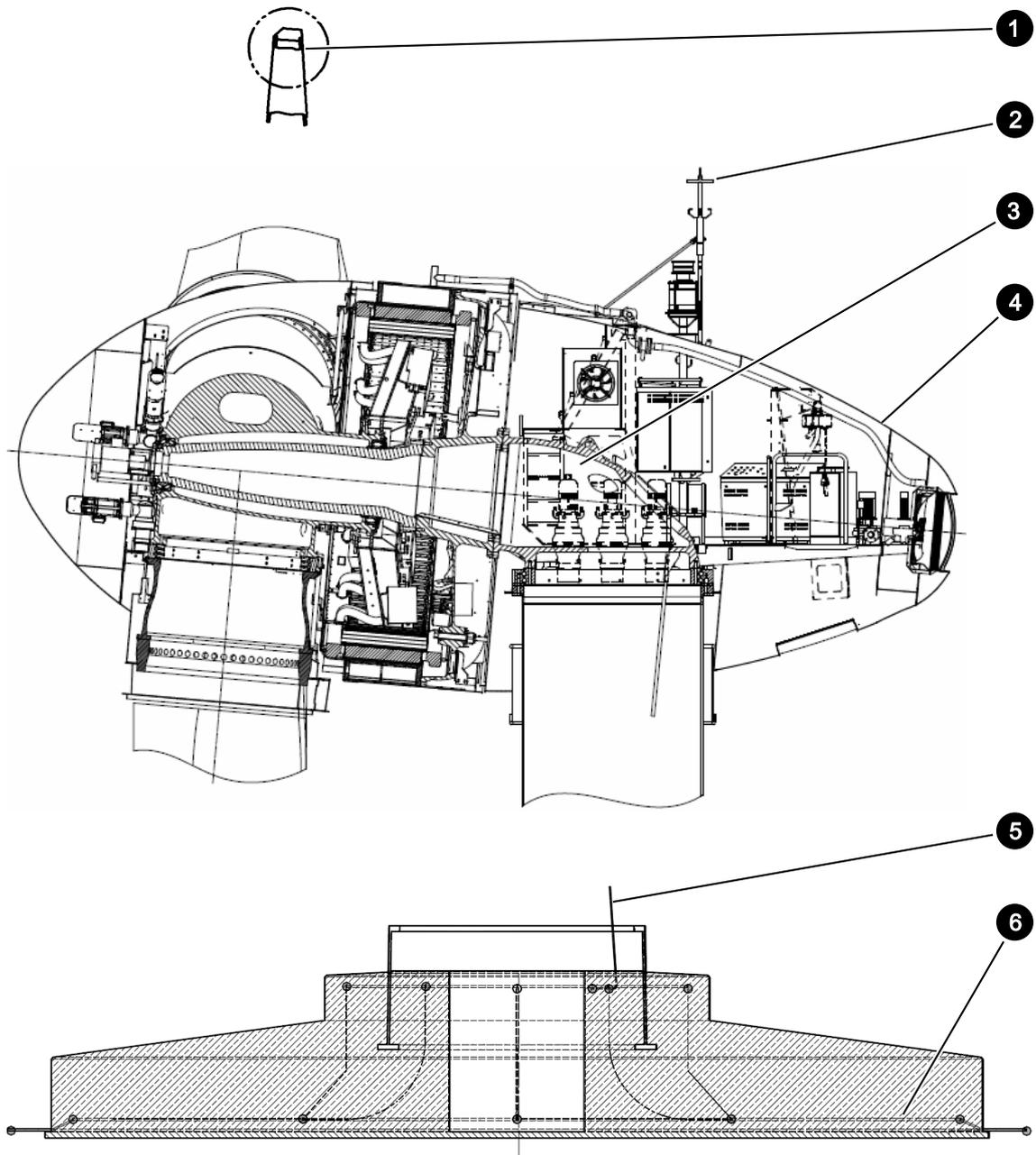


Abb. 1: Übersicht des äußeren Blitzschutzes

1 Rotorblattspitze	4 Maschinenhausverkleidung
2 Blitzfangkäfing Windmessgerät	5 Anschlussfahne Blitzableiter/Er- dungsleiter
3 Maschinenträger	6 Erdungsring

2.2 Rotorblatt

In den Rotorblättern der ENERCON Windenergieanlagen ist ein Blitzschutz integriert, der den Blitzstrom sicher vom Blitzeinschlag an den Blitzfangeinrichtungen über verschiedene Blitzableiter zur Gondel führt.

Der Blitzschutz des Rotorblatts besteht aus folgenden Elementen:

- Rotorblattspitze aus Aluminiumguss (leitend)
- Blitzableiter (Kupfer 50 mm², Kupfer 70 mm², Aluminium 95 mm² oder Aluminium 40 mm x 3 mm)
- ggf. Metallrezeptoren
- Ableitring am Blattanschluss (E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-101, E-101 E2, E-103 EP2, E-115, E-115 E2, E-126 EP4 und E-141 EP4)
- Stahlteil des Rotorblatts (E-126)

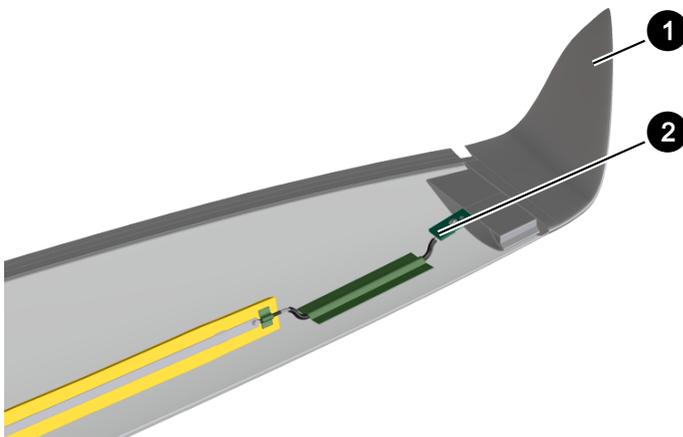


Abb. 2: Rotorblattspitze

1	Rotorblattspitze aus Aluminiumguss	2	Anschluss an den Blitzableiter
---	------------------------------------	---	--------------------------------

Die Rotorblattspitze aus Aluminiumguss ist leitend. Sie ist durch einen Blitzableiter mit dem Ableitring an der Blattwurzel (E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-101, E-101 E2, E-103 EP2, E-115, E-115 E2, E-126 EP4 und E-141 EP4) bzw. mit dem Stahlteil des Rotorblatts (E-126) verbunden. Der Ableitring befindet sich in ausreichendem Abstand zu den leitenden Teilen im Blattanschlussbereich, so dass ein unerwünschter Überschlag verhindert wird.

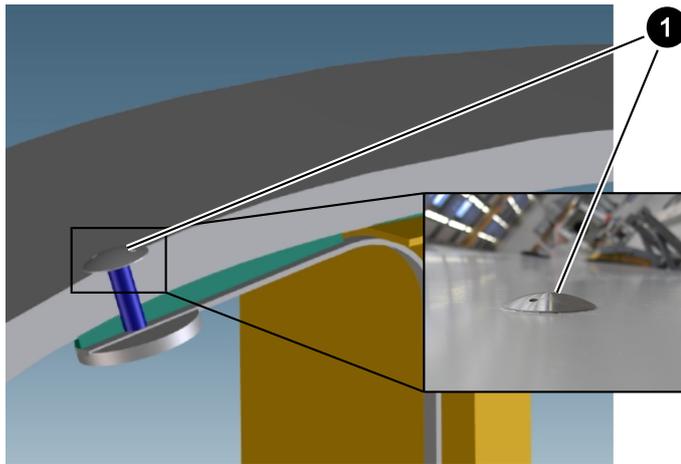


Abb. 3: Rotorblatt mit Rezeptor

1	Rezeptor
---	----------

Eine ungünstige Rotorstellung kann bei langen Rotorblättern zu einem undefinierten Blitzeinschlag zwischen der Rotorblattspitze und der Gondel führen. Um dies zu verhindern, sind je nach Länge und Aufbau des Rotorblatts ggf. zusätzlich Metallrezeptoren auf der Vorder- und Rückseite angeordnet. Die Rezeptoren sind an den Blitzableiter angeschlossen.

2.3 Gondel

Verbindung Rotorblatt – Spinner/Rotor

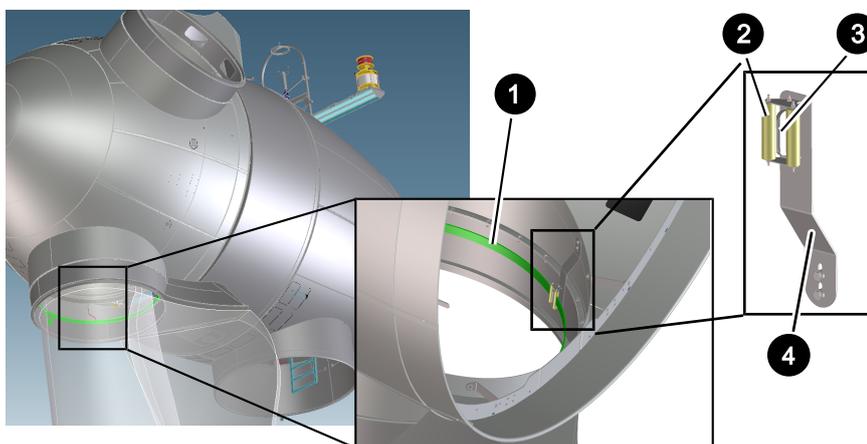


Abb. 4: Ableitring am Blattanschluss mit Rollenblitzableiter

1	Ableitring	2	Rollenkörper
3	Blitzfänger	4	Federblech

Bei den folgenden Windenergieanlagen werden Rollenblitzableiter eingesetzt:

E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-101, E-101 E2, E-103 EP2, E-115, E-115 E2, E-126 EP4 und E-141 EP4

Das Blech, an das der Rollenkörper montiert ist, hat eine Federwirkung und drückt die Rollen an die Blattwurzel. Dadurch bleibt der Abstand zwischen Blitzfänger und Ableitung immer gleich.

Bei der E-126 wird der Blitzstrom vom Rotorblatt auf das Blattflanschlager übertragen. Von dort wird der Blitzstrom weiter auf den Nabenadapter, auf die Rotornabe und auf die Rotorlager geleitet.

Verbindung Spinner/Rotor – Maschinenhaus

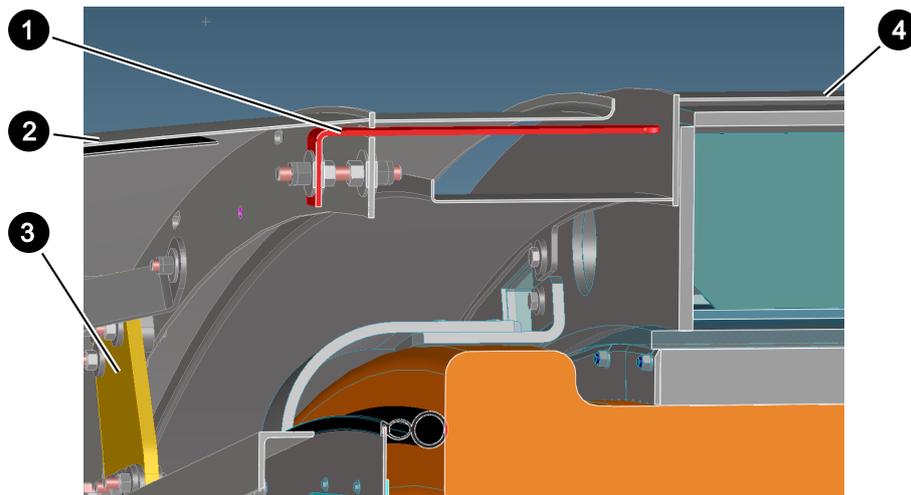


Abb. 5: Blitzfangwinkel (E-44 bis E-115 E2, E-126 EP4 und E-141 EP4)

1	Blitzfangwinkel	2	Spinner
3	Spinnerisolierung	4	Maschinenhausverkleidung

Bei den folgenden Windenergieanlagen wird eine weitere Funkenstrecke bestehend aus 3 Blitzfangwinkeln eingesetzt:

E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-101, E-101 E2, E-103 EP2, E-115, E-115 E2, E-126 EP4 und E-141 EP4

Bei Maschinenhausverkleidungen aus Aluminium führt die Funkenstrecke den Blitzstrom vom Spinner auf die Verkleidung. Von dort aus werden Blitzströme über die Metallverbindungssteile in den Maschinenträger abgeleitet. Bei isolierenden Verkleidungen führt die Funkenstrecke den Blitzstrom auf den Stator und dann zum Maschinenträger.

Bei der E-126 überträgt das Rotorlager den Blitzstrom in den Maschinenträger im Maschinenhaus.

Durch die Anordnung wird ein Blitzeinschlag unabhängig vom momentanen Rotorblattwinkel und von der momentanen Stellung des Rotors zur tragenden Struktur geführt. Die Verbindung zwischen Maschinenträger und Turm wird durch das großflächige Azimutlager sichergestellt.

Auf dem hinteren Teil der Maschinenhausverkleidung sind zum Schutz der Messeinrichtungen Blitzfangstangen montiert, die auch das Windmessgerät als Käfig umhüllen.

2.4 Turm

Stahlurm

Der Stahlurm ist leitend, so dass ein Blitzstrom über diesen abgeleitet wird. Die Flanschverbindungen der Segmente sind spritzverzinkt.

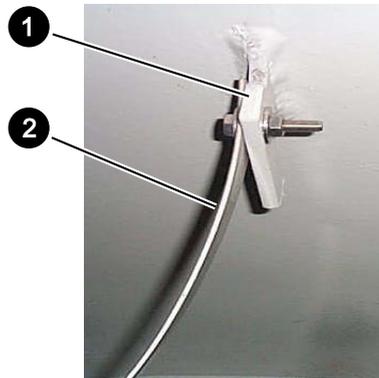


Abb. 6: Laschen mit Anschlussfahnen

1	Lasche	2	Anschlussfahne
---	--------	---	----------------

Zwei am Turm angeschweißte Laschen dienen dem Anschluss der Anschlussfahnen des Fundamenterders.

Betonturm

Der Betonturm besteht aus Betonfertigteilen, die am Aufstellungsort zusammengesetzt werden. Ist der Außendurchmesser größer als 5 Meter, bilden mehrere Betonfertigteile ein Fertigteilesegment. Bei einem Durchmesser von unter 5 Metern, besteht das Fertigteilesegment aus nur einem Betonfertigteil.

Die Fertigteilesegmente werden mit vielen meist durch Hüllrohre verlaufenden starken Stahlseilen mit dem Fundament verspannt.

Grundbestandteil eines Betonfertigteils ist die Bewehrung, bestehend aus Innen- und Außenbewehrung.

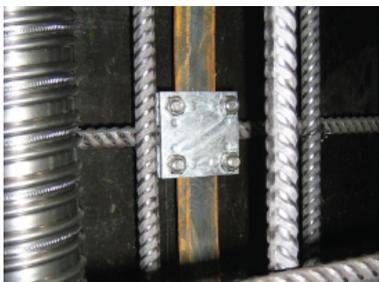


Abb. 7: Verbindung Blitzschutzzeisen mit Bewehrung

Die zum Blitzschutz gehörenden Blitzschutzzeisen werden mit den Gewindehülsen innen angeschraubt, jeder Blitzschutz ist an der Bewehrung befestigt.

Der Betonturm wird mit mindestens 4 gleichmäßig über den Turmumfang verteilten Blitzableitern ausgerüstet. Diese werden aus thermisch verzinktem Bandstahl (30 mm x 3,5 mm) ausgeführt, senkrecht in die Fertigteilsegmente eingesetzt und galvanisch mittels Überbrückungsglaschen vom Fundament nach oben bis zum Stahlturmaufsatz verbunden.

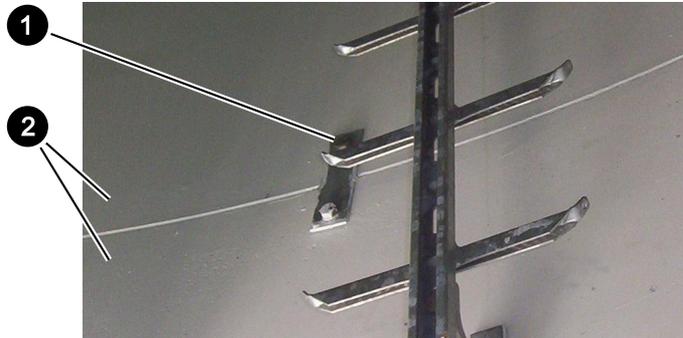


Abb. 8: Bandstahl zwischen 2 Fertigteilsegmenten

1	Bandstahl als Blitzableiter	2	Fertigteilsegmente
---	-----------------------------	---	--------------------

Zur Sicherstellung der Verbindung der Blitzableiter sind die horizontalen Fugen zwischen den einzelnen Fertigteilsegmenten mittels Überbrückungsglasche aus thermisch verzinktem Bandstahl (30 mm x 3,5 mm) und Schraubverbindung (M16 und Spannscheibe) überbrückt. Der nach DIN EN 62305-3:2011-10 [8] geforderte Mindestquerschnitt für Blitzableiter aus thermisch verzinktem Bandstahl von 50 mm² wird damit auch an der Schraubverbindung eingehalten.

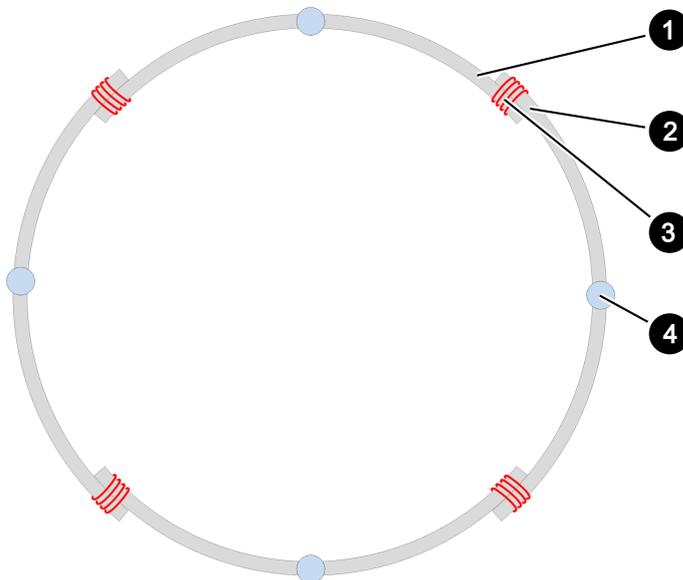


Abb. 9: Nutzung der Bewehrung als Ringleiter im Fertigteilsegment

1	Bewehrungs-eisen-Teilstück (4x)	3	Rödel-draht-schlaufe (16x)
2	Bewehrungs-über-lappung (4x)	4	Kreuz-klemme (4x)

Die Bewehrungseisen-Teilstücke eines Fertigteilsegments bilden einen konzentrisch verlaufenden, galvanisch geschlossenen Ringleiter ($\varnothing \geq 10$ mm). Die Länge der Bewehrungsüberlappung beträgt jeweils mindestens 500 mm. Für jede Bewehrungsverbindung werden mindestens 4 straffe Rödeldrahtschlaufen um die Bewehrungsüberlappung gewickelt. Die Bewehrungseisen-Teilstücke werden mit den Blitzableitern mittels Kreuzklemmen verbunden.

Die Blitzableiter/Erdungsprofile führen zum Fuß des Betonturms. Über weitere Kreuzklemmen sind sie mit den weiteren Ringern verbunden, um so eine gezielte Potentialsteuerung zu erreichen.

2.5 Fundament

Erdungsanlagen schützen Lebewesen und Sachwerte vor Gefahren, die durch Kurz- bzw. Erdschlüsse und transiente Vorgänge, wie Blitzeinschläge und Schalthandlungen, entstehen können. Sie stellen eine effektive Wirkung der (Fehlerstrom-)Schutzeinrichtungen und eine Bereitstellung eines Referenzpotenzials für elektrische Komponenten sicher. Zudem vermeiden sie übermäßige Spannungsspitzen und Potentialunterschiede.

Bei einem Blitzeinschlag entsteht im stromdurchflossenen Bodenbereich ein Potentialanstieg in Richtung Windenergieanlage. Die Höhe der Berührungs- und Schrittspannung ist u. a. abhängig vom Erdungswiderstand des Fundamenterders und der äußeren Erdungsanlage. Die zulässige Berührungs- und Schrittspannung ist in DIN EN 50522:2011-11 [2] definiert. Sie darf nach den Vorgaben der Standardisierung IEEE P80 [13] nicht überschritten werden, um die Gefährdung für in der Nähe befindliche Personen auszuschließen.

2.5.1 Ausführung

Das Fundament ist mit Erdungsringen, die über mehrere Erdungsprofile miteinander verbunden sind, versehen. Die Erdungsringe sind auch mit dem Bewehrungsstahl des Fundaments verbunden. Sie bestehen jeweils aus thermisch verzinktem Bandstahl und sind mit einem Mindestquerschnitt von 100 mm² dimensioniert. Die Kreuzklemmen sind mit Korrosionsschutzbinden geschützt.

Je nach örtlichen Gegebenheiten werden zusätzliche Tiefenerder angebunden. Sofern das Fundament eine Tiefgründung mit Stahlbetonpfählen besitzt, sind auch diese mit den Erdungsringen verbunden.

Der Erdungswiderstand wird gemäß des Dokuments "Messung des Erdungswiderstands" (PM-EW-DC095) gemessen. Bei zu hohen Erdungswiderständen müssen projektspezifische Anpassungen der Erdungsanlage vorgenommen werden. Es muss darauf geachtet werden, dass die zulässigen Schritt- und Berührungsspannungen (siehe Kap. 1, S. 4) nicht überschritten werden.



Je nach vereinbartem Lieferumfang werden Verbesserungen der Erdungsanlage zur Senkung des Erdungswiderstands und damit zur Einhaltung der im Fehlerfall entstehenden Berührungs- und Schrittspannungen vom Kunden oder von ENERCON durchgeführt.

2.5.2 Erdung im Betonturmfundament

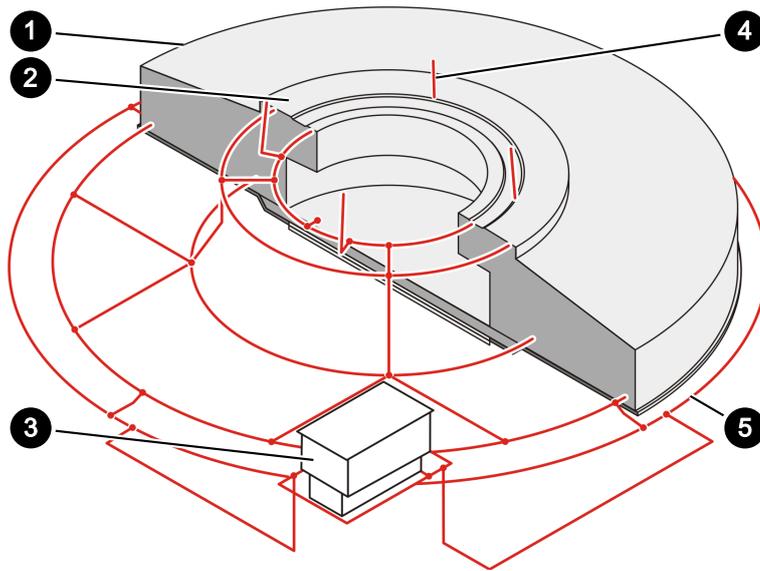


Abb. 10: Erdung im Betonturmfundament

1	Betonturmfundament	4	Anschlussfahne (mind. 2x)
2	Sockel für den Betonturm	5	Erdungsring
3	externe Transformatorstation (falls vorhanden)		

2.5.3 Erdung im Stahlturmfundament

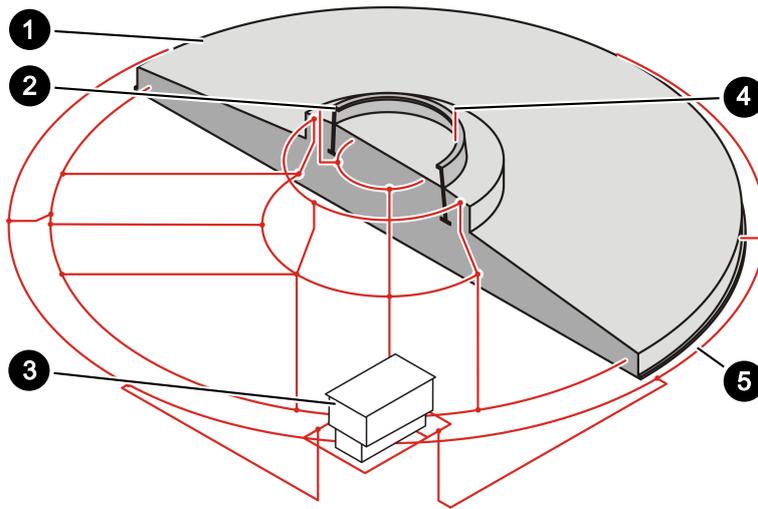


Abb. 11: Erdung im Stahlturmfundament

1	Stahlturmfundament	4	Anschlussfahne (mind. 2x)
2	Sockel für den Stahlturm	5	Erdungsring
3	externe Transformatorstation (falls vorhanden)		

3 Innerer Blitzschutz

Folgende Maßnahmen werden für den inneren Blitzschutz ergriffen.

- Alle leitenden Anlagenhauptkomponenten wie Rotornabe, Gondel, Turm, Schaltschränke, PE-Leiter der Transformatoren und das Fundament sind mit ausreichenden Leiterquerschnitten und möglichst kurzen Leitungslängen an der Potentialausgleichschiene angeschlossen.
- Direkt am Niederspannungs-Netzeingang sind Überspannungsableiter angebracht, die ebenfalls niederohmig geerdet sind. Die Generatorphasen und die Sternpunkte sind über Überspannungsableiter geerdet.
- Alle Platinen mit eigenen Netzteilen sind mit Filtern mit hoher Dämpfung ausgerüstet.
- Sämtliche analogen und digitalen Signaleingänge und -ausgänge sind mit RC-Schutzbeschaltungen und Suppressordioden vor hohen Spannungen und Strömen geschützt.
- Steuer- und Regelungselektronik sind galvanisch über Optokoppler, Trennverstärker und Relais entkoppelt. Die Kommunikation innerhalb der Windenergieanlage erfolgt über Lichtwellenleiter.
- Die Datenübertragung (Modem) wird durch ein Überspannungsschutzmodul für Datenschnittstellen geschützt.
- Kondensatoren und Überspannungsableiter begrenzen die Netz- und Generatorüberspannung. Die Kapazität der Kondensatoren in Verbindung mit den Überspannungsableitern reicht aus, um die Energie durch Blitzeinschläge ohne Schäden zu absorbieren. Allein die Kapazität des Zwischenkreises kann, bereits geladen durch die Zwischenkreisspannung, genügend Energie aufnehmen.

4 Zugrundeliegende Normen

Bei der Konstruktion und der Umsetzung des Blitzschutzes für ENERCON Windenergieanlagen wurden folgende Normen und Standardisierungen beachtet.

- DIN EN 61400-1; VDE 0127-1:2011-08 [3]
- DIN EN 61400-24; VDE 0127-24:2011-04 [4]
- DIN EN 50308; VDE 0127-100:2005-03 [1]
- DIN EN 50522:2011-11 [2]
- DIN EN 62305-1; VDE 0185-305-1:2011-10 [6]
- DIN EN 62305-2; VDE 0185-305-2:2013-02 [7]
- DIN EN 62305-3; VDE 0185-305-3:2011-10 [8]
- DIN EN 62305-4; VDE 0185-305-4:2011-10 [9]
- DIN EN 62561-1; VDE 0185-561-1:2013-02 [10]
- DIN EN 62561-2; VDE 0185-561-2:2013-02 [11]
- DIN EN 61936-1:2014-12; VDE 0101-1:2014-12 [5]
- IEC 60364-5-54 [12]
- IEEE P80 [13]

Quellenverzeichnis

- [1] DIN EN 50308:2005-03 (VDE 0127-100:2005-03): Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung; Deutsche Fassung EN 50308:2004
- [2] DIN EN 50522:2011: Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Deutsche Fassung EN 50522:2010
- [3] DIN EN 61400-1; VDE 0127-1:2011: Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010
- [4] DIN EN 61400-24:2011-04 (VDE 0127-24:2011-04): Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz (IEC 61400-24:2010); Deutsche Fassung EN 61400-24:2010
- [5] DIN EN 61936-1:2014; VDE 0101-1:2014: Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV - Teil 1: Allgemeine Bestimmungen (IEC 61936-1:2010, modifiziert + Cor.:2011 + A1:2014); Deutsche Fassung EN 61936-1:2010 + AC:2011 + AC:2013 + A1:2014
- [6] DIN EN 62305-1; VDE 0185-305-1:2011: Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 62305-1:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-1:2011
- [7] DIN EN 62305-2; VDE 0185-305-2:2013: Blitzschutz - Teil 2: Risiko-Management (IEC 62305-2:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-2:2012
- [8] DIN EN 62305-3; VDE 0185-305-3:2011: Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen (IEC 62305-3:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-3:2011
- [9] DIN EN 62305-4; VDE 0185-305-4:2011: Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen (IEC 62305-4:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-4:2011
- [10] DIN EN 62561-1; VDE 0185-561-1:2013: Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile (IEC 62561-1:2012, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62561-1:2012
- [11] DIN EN 62561-2; VDE 0185-561-2:2013: Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 2: Anforderungen an Leiter und Erder (IEC 62561-2:2012, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62561-2:2012
- [12] IEC 60364-5-54: inhaltsgleich zur VDE 0100-540
- [13] IEEE P80: Richtlinie für die Sicherheit bei der Erdung von Wechselstrom-Umspannstationen.