

**16.1.3 Sicherheitstechnische Einrichtungen und Vorkehrungen****Eisdetektion**

An Rotorblättern von Windenergieanlagen kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur

Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen. Eis- und Reifablagerungen reduzieren den Wirkungsgrad. Zudem können Eisstärken erreicht werden, von denen beim Herabfallen oder Wegschleudern Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Zur Beurteilung des spezifischen Risikos ausgehend von den Anlagen des Windpark Forst-Briesnig 3 wurde ein Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort (Referenz-Nummer: 2024-WND-RB-292-R0) durch das Büro

**TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG**  
**Große Bahnstraße 31**  
**22525 Hamburg**

erarbeitet.

Anlagen:

- 16.1.3.1 Blitzschutz und elektromagnetische Verträglichkeit.pdf
- 16.1.3.2 Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall.pdf

# Blitzschutz und elektromagnetische Verträglichkeit

Dokumentennr.: 0077-8468 v05

Klassifizierung: EINGESCHRÄNKTE WEITERGABE

Typ: T09

Datum: 30.11.2022

Windenergieanlagentyp
EnVentus

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abkürzungen und Fachbegriffe .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Blitzschutz.....</b>	<b>2</b>
3.1	Schutzklasse.....	3
3.2	Definition von Blitzschlagpunkten.....	3
3.3	Überblick über das Blitzschutzsystem .....	5
3.3.1	Blitzschlagpunkte .....	5
3.4	Rotorblattschutz .....	6
3.5	Schutz des CoolerTop® .....	7
3.6	Hauptlagerschutz .....	8
3.7	Ableitung vom Maschinenhaus zum Turm .....	9
3.8	Turmkonstruktion .....	10
3.9	Das Ableitungssystem vom Turmfuß zum Erdungssystem.....	10
3.10	Schutz der Elektrik und der Steuerungssysteme .....	10
3.11	Erdungssysteme .....	11
3.11.1	Onshore-Windenergieanlage .....	11
3.11.2	Offshore-Windenergieanlage .....	13
3.12	Verifizierung.....	15
<b>4</b>	<b>EMV.....</b>	<b>16</b>
4.1	Rechtsvorschriften .....	16
4.1.1	Grundlegende EMV-Anforderungen .....	17
4.2	Konformität der Windenergieanlagen .....	18
4.3	Anerkannte Regeln der Technik.....	18
4.4	Komponentenübergreifende Konformität.....	18

## 1 Abkürzungen und Fachbegriffe

Tabelle 1-1: Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
IEC	International Electrotechnical Commission
LCTU	Lightning Current Transfer Units (Blitzstromableiter)

Tabelle 1-2: Begriffserklärung

Laufzeit	Erklärung
Mittelwert	Der arithmetische Durchschnitt einer Reihe von Werten oder Mengen, der durch Division der Summe aller Werte durch die Anzahl der Werte errechnet wird.

## 2 Einführung

In diesem Dokument werden der Zweck der Bauweise des Blitzschutzsystems sowie der Schutz vor unerwünschten elektromagnetischen Umwelteinwirkungen beschrieben.

EMV und Blitze fallen in dieselbe Kategorie unerwünschter elektromagnetischer Einwirkungen. Die zur Beurteilung der Konformität herangezogenen Normen unterscheiden sich jedoch deutlich. Aus diesem Grund wurde die Themen Blitzschutz und EMV in zwei eigenständige Hauptkapitel aufgeteilt.

## 3 Blitzschutz

Alle Vestas-Windenergieanlagen sind mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet, um Schäden an mechanischen Komponenten, Elektrik und Steuerungen möglichst gering zu halten.

Das Vestas-Blitzschutzsystem umfasst äußere und innere Blitzschutzsysteme.

Das äußere Schutzsystem nimmt einen direkten Blitzschlag auf und leitet den Blitzstrom in das Erdungssystem unterhalb des Turms. Beispielsweise zählen der Blitzkontakt an der Rückseite des Maschinenhauses und die Blitzrezeptoren der Blätter zu den äußeren Blitzschutzkomponenten.

Das innere Schutzsystem leitet den Blitzstrom sicher in das Erdungssystem. Außerdem beseitigt es die durch Blitzschlag verursachten magnetischen und elektrischen Induktionsfelder. Beispiele für innere Blitzschutzkomponenten sind EMV/Blitzschutzabdeckungen, abgeschirmte Kabel und Überspannungsschutzgeräte.

Potenzialausgleich und Überspannungsschutz sind die wichtigsten Maßnahmen, um den Schutz der Elektronik in der Windenergieanlage sicherzustellen.

Blitzeinschläge gelten als höhere Gewalt. Das bedeutet, dass Vestas nicht für Schäden durch Blitzeinschläge aufkommt.

### 3.1 Schutzklasse

Vestas-Windenergieanlagen werden weltweit in Küstenbereichen und Berggegenden installiert, in denen die Blitzhäufigkeit groß ist. Um lokale Gefährdungsbeurteilungen zu vermeiden und die unterschiedlichen Blitzschutzanforderungen verschiedener Standorte besser verwalten zu können, hat Vestas ein Standard-Blitzschutzsystem entwickelt, das der höchsten in der Norm IEC 61400-24 Ed. 2 angegebenen Schutzklasse entspricht, wie in [Tabelle Numerische Werte des Blitzstroms, Seite 5](#) angegeben.

Die Schutzklasse 1 entspricht der Norm IEC 61400-24 Ed. 2, d. h. Vestas-Windenergieanlagen sind für Blitzschläge mit hoher Energie ausgelegt.

Tabelle 3-1: Numerische Werte des Blitzstroms

Blitzparameter			Schutzklasse 1
Scheitelwert des Blitzstroms	$I_{\max}$	[kA]	200
Gesamtladung	$Q_{\text{total}}$	[C]	300
Spezifische Energie	W/R	[kJ/Ω]	10.000
Durchschnittliche Steilheit	$di/dt_{30/90 \%}$	[kA/μs]	200

### 3.2 Definition von Blitzschlagpunkten

Mit dem „Rollkugelverfahren“ werden gemäß IEC 61400-24 Ed. 2 Blitzschlagpunkte definiert. Studien haben gezeigt, dass die Blattspitzen und die Wetterstation (und, sofern vorhanden, die Gefahrenfeuer) am hinteren Ende des Maschinenhauses die Bereiche mit der höchsten Blitzschlaggefahr darstellen.

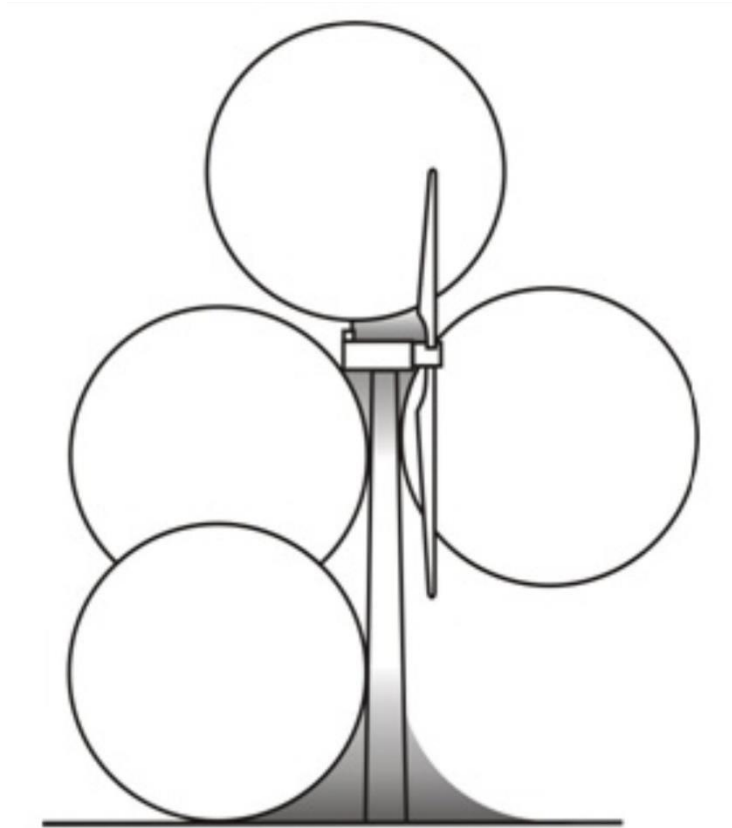


Abbildung 3-1: Das Blitzkugelverfahren

### 3.3 Überblick über das Blitzschutzsystem

Die Windenergieanlage ist darauf ausgelegt, direkte Blitzeinschläge auszuhalten.

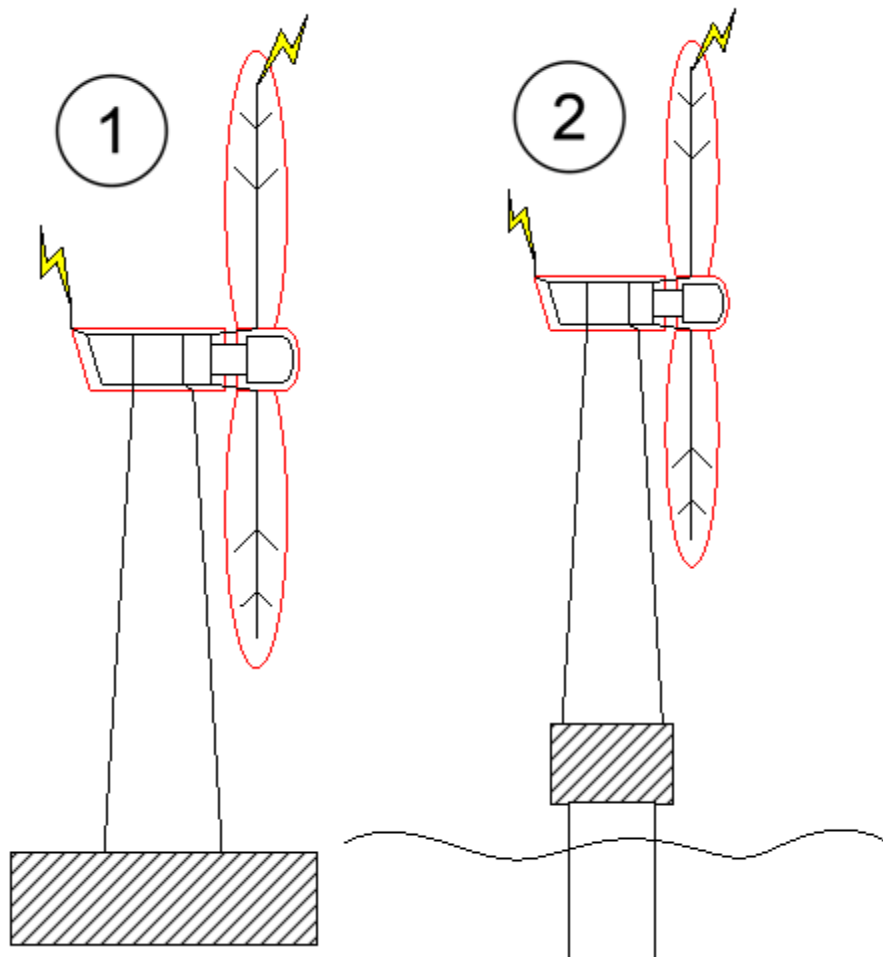


Abbildung 3-2: Blitzschlagpunkte und Blitzableitungssystem

1 Onshore-Windenergieanlage

2 Offshore-Windenergieanlage

#### 3.3.1 Blitzschlagpunkte

Bereiche auf der Windenergieanlage, in denen mit Blitzeinschlägen zu rechnen ist.

##### Maschinenhaus

Die Konstruktionsteile des Maschinenhauses sind so ausgelegt, dass sie Blitzströme sicher zum Turm ableiten. Die Komponenten im Maschinenhaus sind so ausgelegt, dass sie hohen magnetischen und elektrischen Feldern bei Blitzeinschlägen standhalten.

**Turm**

Der Turm bildet den primären Weg für die Ableitung des Blitzstroms nach unten in das Erdungssystem.

**Rotorblätter**

Die Rotorblätter sind die empfindlichsten Komponenten, die Blitzschlägen ausgesetzt sind. Die Rotorblätter sind standardmäßig so ausgelegt, dass sie diesen extremen Blitzschlagbedingungen standhalten.

**Blitzstromableiter (LCTU)**

Das Blitzstromableiter (LCTU)-System schützt Blattlager, Hauptlager und Azimutlager vor hohen Blitzspannungen. Aufgabe des Blitzstromableitersystems ist es, die Blitzspannung sicher von den Blättern zum Maschinenhaus, vom Maschinenhaus zum Turm und dann in das Erdungssystem zu leiten.

**Erdungssystem**

Aufgabe des Erdungssystems ist die sichere Entladung des Blitzstroms in den umgebenden Boden.

**Blitzableitungssystem**

Der schwarze Teil der Windenergieanlage ist das Blitzableitungssystem. Die Rotorblätter der Windenergieanlage werden häufig von Blitzen getroffen. Wenn ein Blitz in ein Rotorblatt einschlägt, wird der Strom über den Blatableiter und über die Blitzstromableiter der Rotorblätter/des Maschinenhauses zu den Strukturteilen des Maschinenhauses geleitet. Von dort aus wird die elektrische Energie des Blitzes weiter zum Blitzstromableiter des Maschinenhauses/Turms geführt, wobei eine Ableitung am Turm herab erfolgt. Abschließend wird der Blitzstrom über das Erdungssystem entladen.

**3.4 Rotorblattschutz****Blatt EnVentus V150/V162**

Das Blitzschutzsystem des Blatts besteht aus vier Hauptelementen: Spitzenschutz-Rezeptoren, Oberflächenschutz, Ableitungssystem und Blitzableiterband.

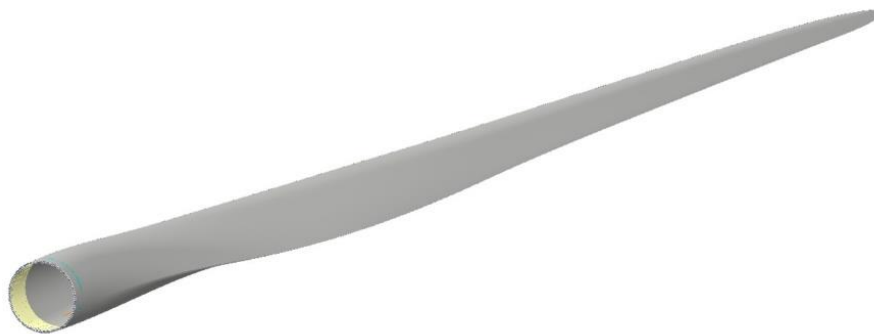


Abbildung 3-3: Blatt mit Blattband

Die Spitzenschutz-Rezeptoren verfügen über eine massive Metallspitze und mehrere Blitzrezeptoren. Die massive Metallspitze und die Blitzrezeptoren ziehen Blitze an, sodass die Glasfaserschalen oder der Hauptteil des Rotorblatts seltener von Blitzen getroffen werden. Die massive Metallspitze und die Rezeptoren sind mit einem isolierten Mittelspannungskabel verbunden.

Ein Teil der druck- und saugseitigen Schalen zwischen Blitzrezeptorengruppe und Blattwurzel ist mit einer Streckmetallfolie bedeckt. Ebenso wie die massive Metallspitze und die Blitzrezeptorengruppe bietet die Streckmetallfolie einen bevorzugten Blitzschlagpunkt und schützt so den unbedeckten Teil des Blatts vor direkten Blitzschlägen. Die Streckmetallfolie ist mit der Blitzrezeptorengruppe und dem Ableitungssystem verbunden.

Das Ableitungssystem enthält ein isoliertes Mittelspannungskabel, das durch den Hinterkanten-Hohlraum des Blatts verläuft. Das Mittelspannungskabel wird gemäß IEC 61400-24 Ed. 2 ausgewählt.

Das Ableitungssystem endet am Rotorblattband an der Blattwurzel. Das Blattband dient als Schnittstelle zum Blitzstromableiter. Weitere Informationen zum LTCU sind in Abschnitt [3.6 Hauptlagerschutz, Seite 8](#), enthalten.

### Blatt EnVentus V172

Das Blatt der EnVentus V172 ist mit einem Kohlefaser-Pultrusion-Blitzschutzsystem (PLPS) ausgestattet. Das PLPS erfüllt die neue Version der Norm IEC 61400-24:2019, gemäß der alle Hauptkomponenten Labortests unterzogen wurden, in denen die Auswirkungen und das Verhalten des Systems bei einem Blitzschlag simuliert wurden.

Das Blitzableitersystem ist so ausgelegt, dass es den Wartungsbedarf senkt, da die Blitzrezeptoren und Ableiter die einzigen Blitzableiterteile sind, die gewartet werden müssen.

Neben dem Spitzenrezeptorpaar befinden sich zusätzlich vier Rezeptorpaare entlang des Blattes, drei Paare in der Spitze und zwei in der Wurzel. Der Potenzialausgleich erfolgt auf Grundlage der Simulationsergebnisse an den Rezeptorenpositionen zwischen den Schalen und dem Ableitungssystem.

Das PLPS besteht aus fünf Blitzableiterpaaren, die in den Blitzableiter und die Blattspitze sowohl an der Luv- als auch an der Lee-Fläche integriert sind.

Blitzrezeptoren fangen Blitzeinschläge ab, leiten den Blitz durch den integrierten Blitzableiter und von dort zur Blattwurzel in den Nabenanschluss.

## 3.5 Schutz des CoolerTop®

Die Geräte auf dem Kühlsystem werden durch Blitzableiterstangen und Rezeptorringe geschützt. Alle Metallteile sind über einen Potenzialausgleich mit der internen Stahlkonstruktion des Maschinenhauses verbunden.



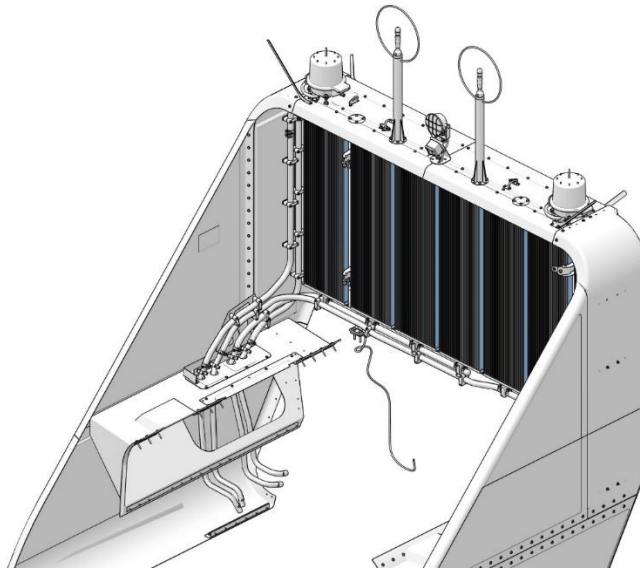


Abbildung 3-4: Darstellung von Ultraschall-Anemometer und Gefahrenfeuer am CoolerTop® an der Rückseite des Maschinenhausdaches

### 3.6 Hauptlagerschutz

Um den Blitzstrom von den einzelnen Rotorblättern zur Maschinenhausstruktur zu leiten, ohne dass dabei Strom durch die Rotorblattnabe und die Hauptlager fließt, ist ein drehbarer Blitzstromableiter zwischen den Rotorblättern und dem Maschinenhaus vorgesehen.

Die Ableitungssysteme der einzelnen Rotorblätter werden vom Nabengehäuse getrennt gehalten und sind über den Blitzstromableiter mit der Maschinenhausstruktur verbunden.

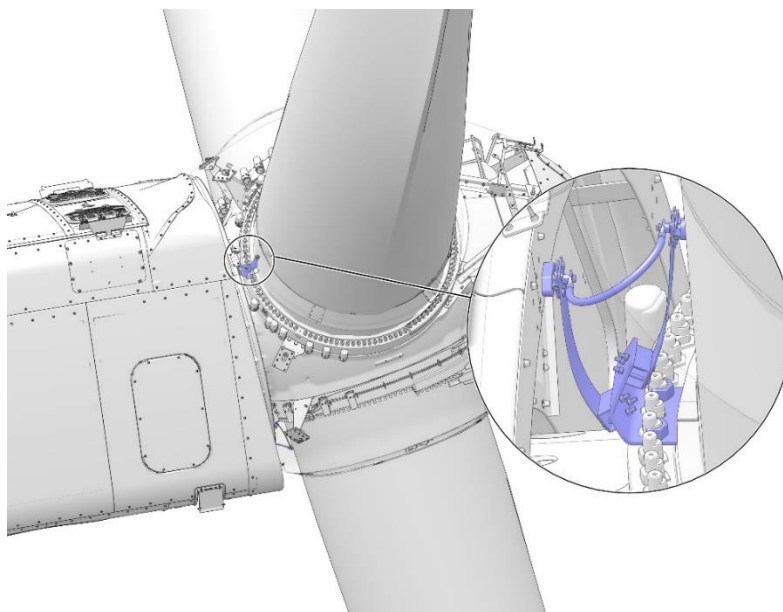


Abbildung 3-5: Darstellung eines Blitzstromableiters zwischen den Rotorblättern und der Maschinenhauskonstruktion

### 3.7 Ableitung vom Maschinenhaus zum Turm

Es gibt strukturelle Verbindungen vom Maschinenhaus zum oberen Azimutflansch. Um eine Stromführung durch die Azimutgetriebe und -lager zu vermeiden, sind Blitzstromübertragungskontakte aus Messing im Azimutlager installiert.

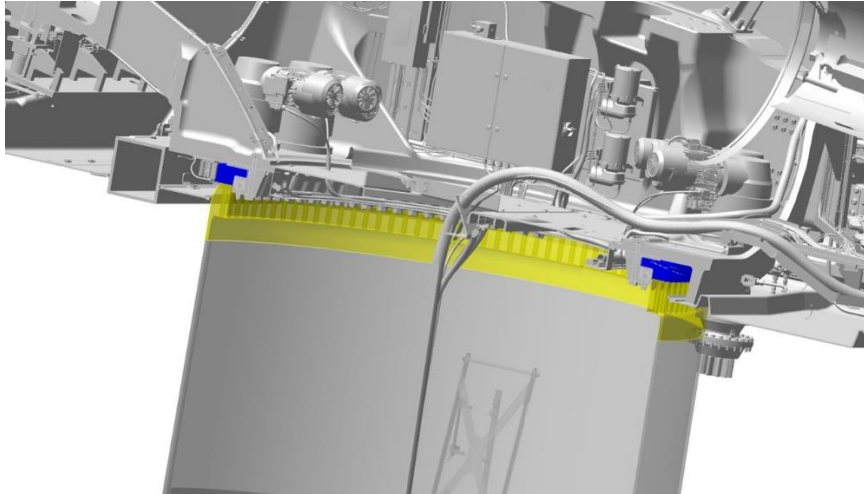


Abbildung 3-6: Darstellung des Azimutlagerschutzes

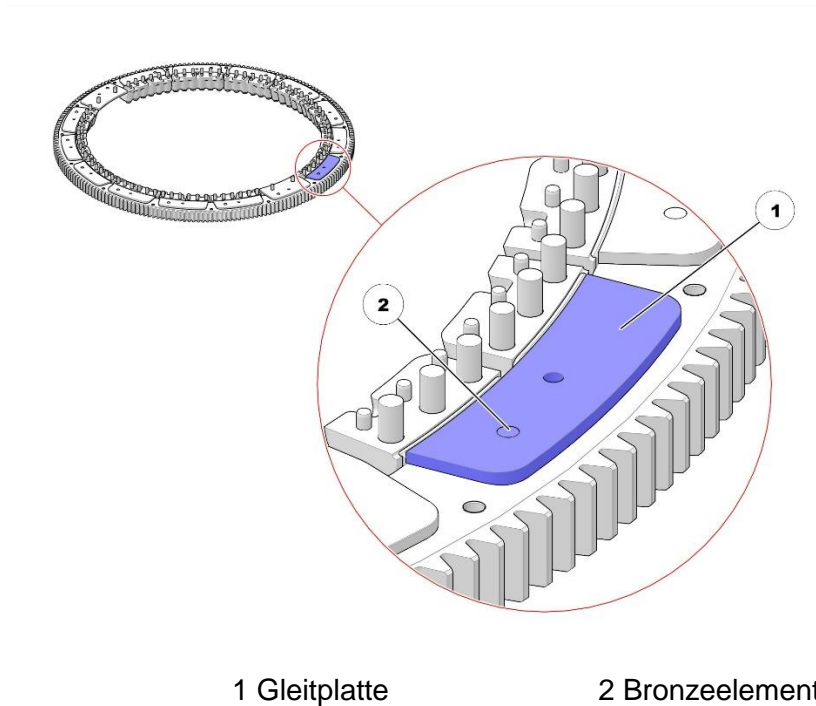


Abbildung 3-7: Darstellung eines Bronzelements in einer Nylon-Gleitplatte, welches das Maschinenhaus elektrisch mit dem Turm verbindet

### 3.8 Turmkonstruktion

Es gibt zwei Arten von Türmen:

- Stahlrohrturm
- Hybridturm (Oberteil aus Stahl und Betonsockel)

Der Turm fungiert als Ableitungssystem mit sehr großem Querschnitt, wodurch der Spannungsabfall im Turm gering ist.

### 3.9 Das Ableitungssystem vom Turmfuß zum Erdungssystem

Im Turmsockel sind alle Erdungskabel und Erdungsverbindungen mit der Haupterdungsschiene verbunden.

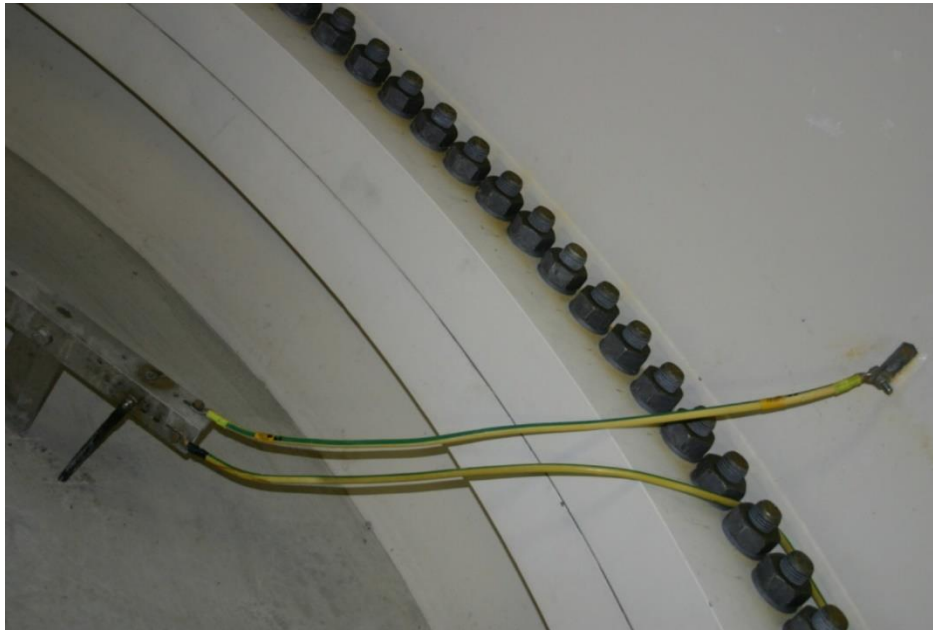


Abbildung 3-8: Verbindung zwischen Turm und Haupterdungsschiene

### 3.10 Schutz der Elektrik und der Steuerungssysteme

Der Mittelspannungstransformator muss unbedingt gegen Blitzschlag geschützt werden. Vestas gewährleistet dies durch den Einbau von Mittelspannungsableitern an den Mittelspannungsanschlüssen und am Überspannungsschutz auf der Niederspannungsseite.

## 3.11 Erdungssysteme

### 3.11.1 Onshore-Windenergieanlage

Es gibt 2 Arten von Erdungssystemen: Erstens das Erdungssystem von Vestas und zweitens das bei der Hybridturm-lösung eingesetzte extern bereitgestellte Erdungssystem.

Das Hybridturm-Erdungssystem ist eine Kombination aus dem Erdungssystem von Vestas und dem Erdungssystem des Lieferanten. Ein Hybridturm besteht aus einem Oberteil aus Stahl und einem Betonsockel. Für die Erdungssysteme von Hybridtürmen ist der Lieferant zuständig (nicht Vestas). Die erforderlichen Zertifikate für den Hybridturm und die zugehörigen Erdungssysteme werden vom Lieferanten erworben.

Die nachfolgende Beschreibung gilt sowohl für das Erdungssystem von Vestas als auch für das Hybridturm-Erdungssystem:

Das Erdungssystem ist als Sicherheitserdung und Funktionserdung in einer „Typ-B-Anordnung“ konzipiert.

Aus Sicht einer einzelnen Windenergieanlage besteht das Erdungssystem prinzipiell aus drei einzelnen Erdungssystemen. Die erste Einheit ist die Fundamenterdung. Die zweite und die dritte Einheit sind die Erdverbindungskabel zwischen den einzelnen Windenergieanlagen und der horizontalen Erdungselektrode.

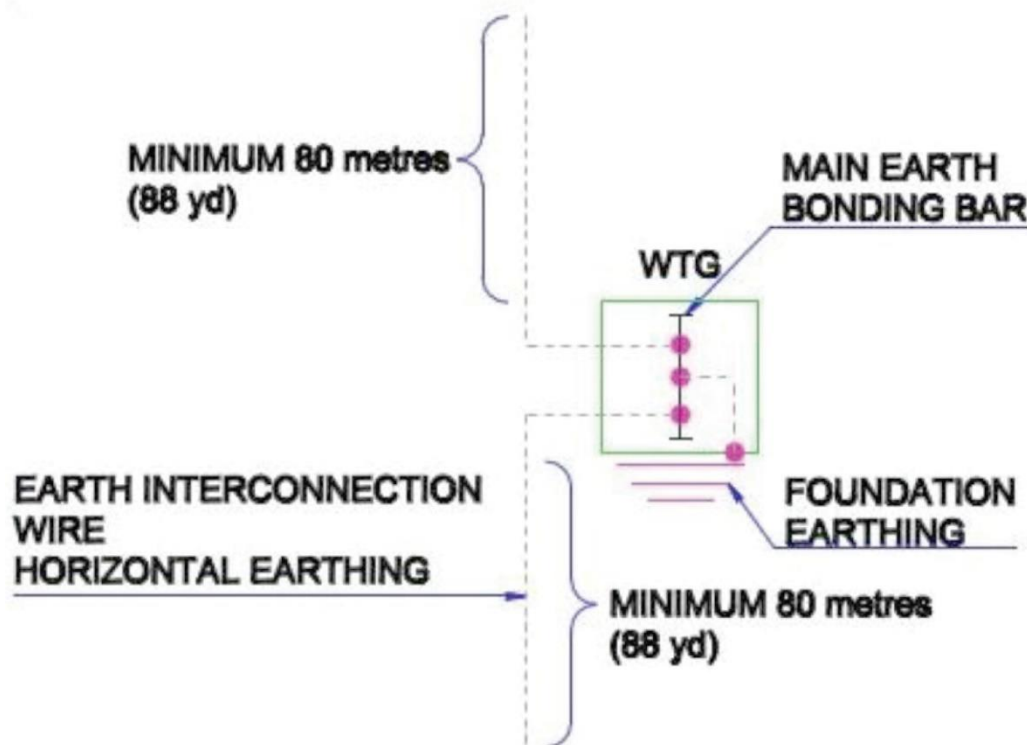


Abbildung 3-9: Prinzipdarstellung des Vestas-Erdungssystems

Im Erdungssystem sind die Windenergieanlagen in einem Windpark oder einem Netz von Windenergieanlagen zusätzlich mit einem Erdverbindungskabel zu einem gemeinsamen Erdungssystem verbunden.

Das Erdungssystem ist das Erdungssystem für das Mittelspannungssystem, das Niederspannungssystem und das Blitzschutzsystem für jede Windenergieanlage. Es ist darüber hinaus das Erdungssystem für die Mittelspannungsverteilung innerhalb des Windparks.

Bezüglich des Blitzschutzes der Windenergieanlage fordert Vestas für dieses System keinen bestimmten, in Ohm gemessenen Widerstand zur Bezugserde. Die Erdung der Blitzschutzsysteme basiert auf dem Aufbau und der Konstruktion des Vestas-Erdungssystems und entspricht den IEC-Normen.

Ein Teil des Erdungssystems ist die Hauptpotenzialausgleichsschiene, die am Kabeleintritt aller Zuleitungen zur Windenergieanlage montiert ist. Alle Erdungselektroden sind mit dieser Hauptpotenzialausgleichsschiene verbunden. Zusätzlich sind Potenzialausgleichsverbindungen an allen Zu- oder Ableitungen der Windenergieanlage installiert.

Die Anforderungen der Spezifikation und der Arbeitsanweisung für das Vestas-Erdungssystem entsprechen den Mindestanforderungen von Vestas und der IEC. Lokale und nationale sowie projektspezifische Anforderungen können gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen.

### 3.11.2 Offshore-Windenergieanlage

Das Vestas-Erdungssystem ist als „Typ-B-Anordnung“ basierend auf Fundamenterdung (Monopile) konzipiert. Der Monopile fungiert als zusätzliche vertikale Erdungselektrode, damit das Erdungssystem die im Vergleich zum Blitzschutzsystem erforderliche Größe und Länge aufweist. Im Vestas-Erdungssystem sind die Windenergieanlagen in einem Windpark oder einem Netz von Windenergieanlagen zusätzlich mit einem Verbindungskabel zu einem gemeinsamen Erdungssystem verbunden.

Ein Teil des Vestas-Erdungssystems ist die Hauptpotenzialausgleichsschiene, die am Kabeleintritt aller Seekabel zum Turm der Windenergieanlage montiert ist. Die Erdungselektrode selbst ist mit der Hauptpotenzialausgleichsschiene verbunden. Potenzialausgleichsverbindungen an allen Zu- oder Ableitungen der Windenergieanlage am Kabeleintritt sind mit der Hauptpotenzialausgleichsschiene verbunden. Die Hauptpotenzialausgleichsschiene wird direkt an die Fundamentsektion des Turms geschweißt/geschraubt. Sie ist somit direkt mit dem Turm und allen anderen metallischen Teilen der Windenergieanlage verbunden.

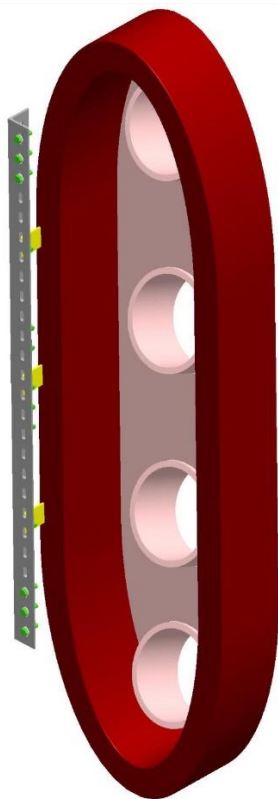


Abbildung 3-10: Mögliche Einbaulage der Hauptpotenzialausgleichsschiene

Lichtwellenleiter mit Metallkabelschirmen oder anderen metallischen Komponenten müssen ebenfalls direkt mit der Hauptpotenzialausgleichsschiene am Eintrittspunkt verbunden werden.



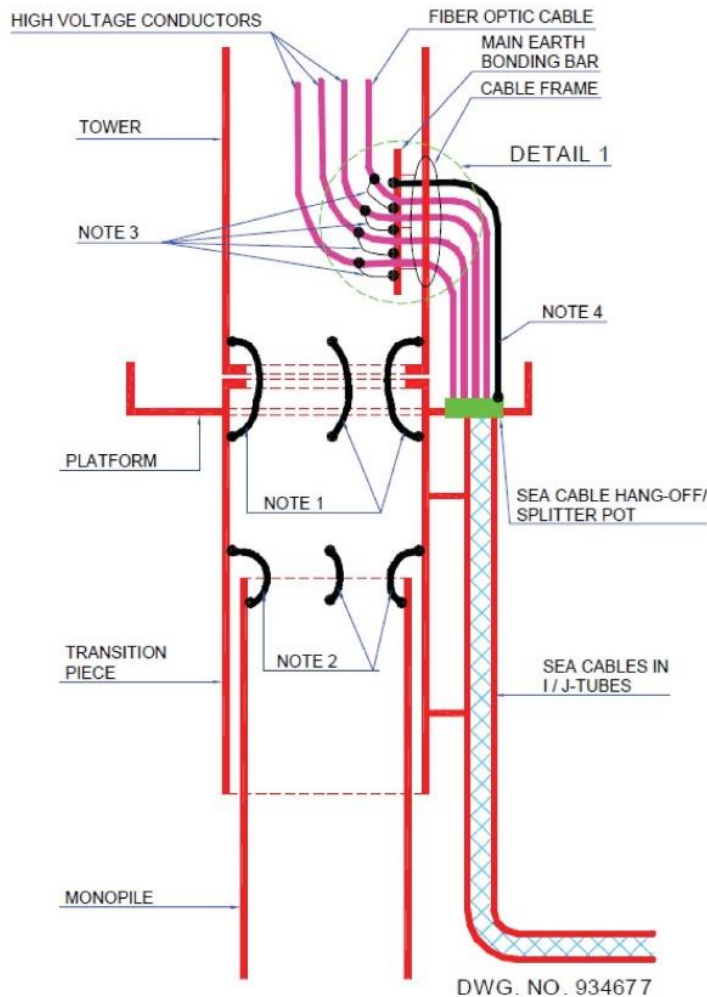


Abbildung 3-11: Prinzipdarstellung des Vestas-Erdungssystems bei J-Rohr-Aufstellung

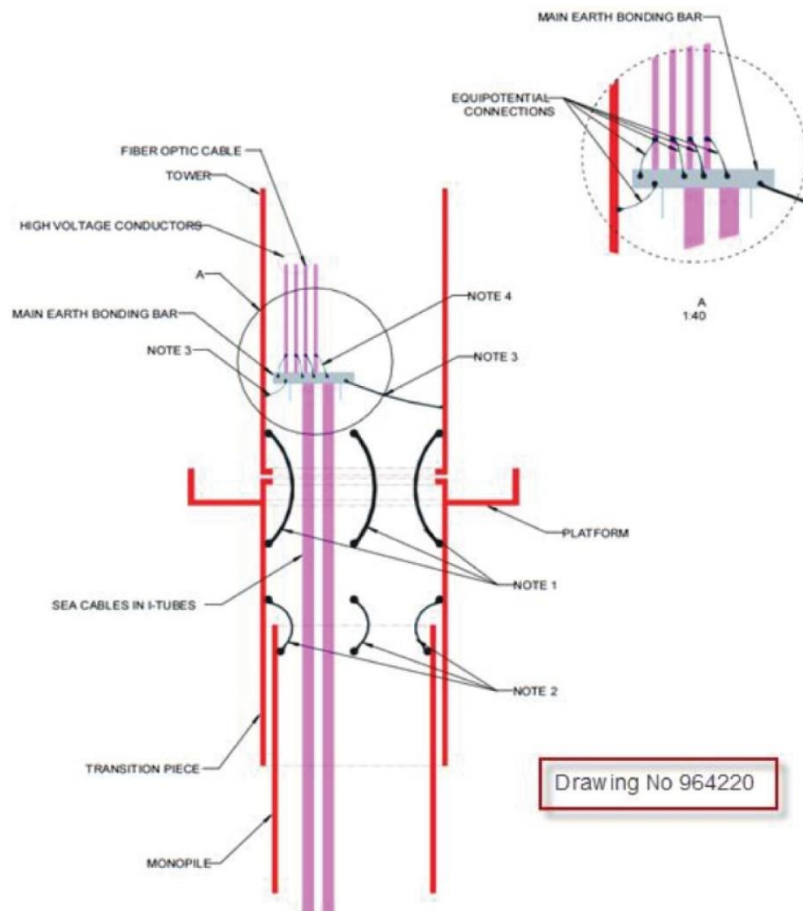


Abbildung 3-12: Prinzipdarstellung des Vestas-Erdungssystems bei I-Rohr-Aufstellung

Generell sind alle metallischen Teile in und in unmittelbarer Reichweite der Windenergieanlage miteinander und mit dem Erdungssystem verbunden. All dies hat zur Folge, dass alle Teile sowie das umgebende Erdreich und Wasser beim Auftreten von Strömen im Erdungssystem auf dasselbe Potenzial gehoben werden. Wenn alle metallischen Teile sowie das umgebende Erdreich und Wasser auf das gleiche Potenzial gehoben werden, kann keine Berührungsspannung oder Schrittspannung entstehen.

### 3.12 Verifizierung

Die Überprüfung des Blitzschutzsystems erfolgt gemäß IEC 61400-24 Ed. 2.



## 4 EMV

Vestas-Windenergieanlagen müssen die EMV-Richtlinie 2014/30/EU sowie alle EMV-bezogenen Aspekte der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zur funktionalen Sicherheit erfüllen.

Motivation für die EMV-Richtlinie ist die Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit zwischen elektrischen Geräten. Eine detaillierte Beschreibung ist im Abschnitt „Grundlegende EMV-Anforderungen“ zu finden.

Vestas konzentriert sich auf drei Bereiche, um die Anforderungen der europäischen EMV-Richtlinie zu erfüllen:

- Konformität der Windenergieanlagen
- Anerkannte Regeln der Technik
- Komponentenübergreifende Konformität

### 4.1 Rechtsvorschriften

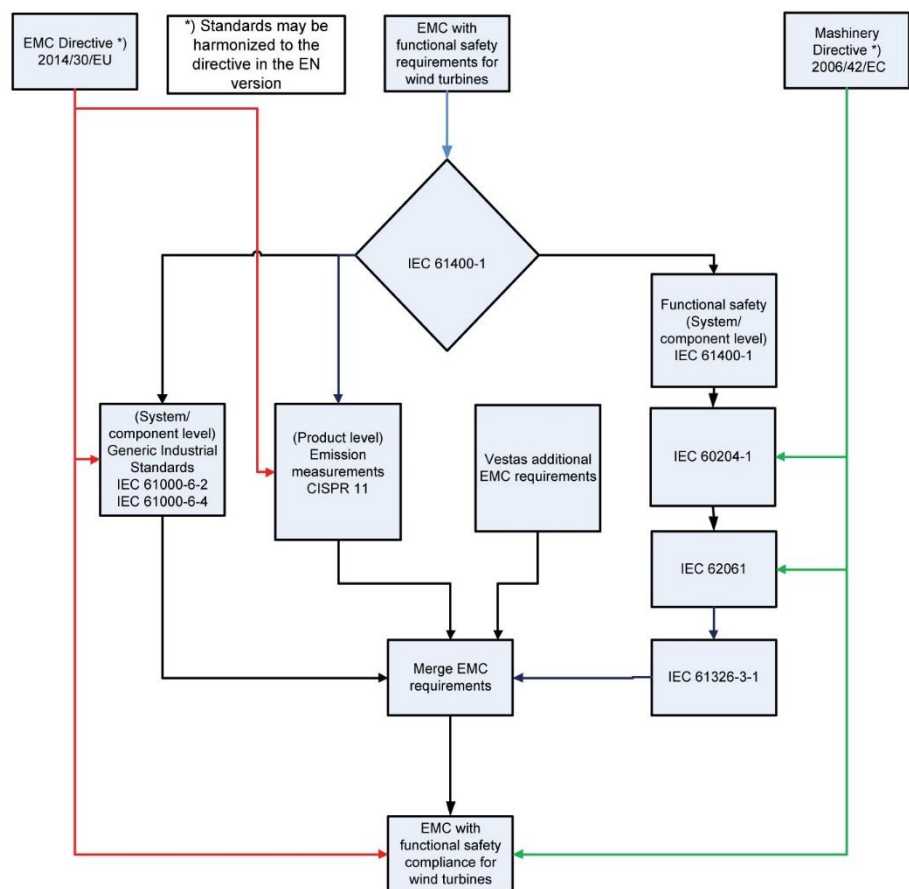


Abbildung 4-1: Rechtsvorschriften

Vestas entwickelt und produziert unter Einhaltung der EMV-Anforderungen gemäß den in der EMV-Richtlinie und in der Maschinenrichtlinie festgelegten Anforderungen des Europäischen Rates im Hinblick auf die funktionale Sicherheit.

RICHTLINIE 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung)

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)

Die Einhaltung der EMV-Richtlinie und der Maschinenrichtlinie wird durch die in der Norm für die Produktebene genannten Prüfungen belegt:

IEC 61400–1 Ed. 4 Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen“ behandelt Sicherheitsaspekte, Integrität von Qualitätssicherung und Konstruktion und legt die Sicherheitsanforderungen bei Entwicklung, Aufstellung und Betrieb von Windenergieanlagen-Generatorsystemen fest.

IEC 61400–1 nennt die grundlegenden Auslegungsanforderungen zur Gewährleistung der Konstruktionsintegrität von Windenergieanlagen. Ziel ist der angemessene Schutz vor Schäden durch unterschiedlichste Gefahren während der gesamten geplanten Lebensdauer. Diese Norm gilt für alle Untersysteme von Windenergieanlagen, darunter Steuer- und Schutzmechanismen, interne elektrische Systeme, mechanische Systeme und Trägerkonstruktionen. Diese Norm gilt für Windenergieanlagen jeder Größe.

CISPR 11 Ed. 6 „Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte – Funkstörungen – Grenzwerte und Messverfahren“.

CISPR 11 definiert den Messaufbau und die Messverfahren sowie die zulässigen Grenzwerte für Funkstörungen durch Industriegeräte.

#### 4.1.1 Grundlegende EMV-Anforderungen

Die grundlegenden EMV-Anforderungen sind in ANHANG I der EMV-Richtlinie 2014/30/EU unter „Schutzanforderungen“ und „Besondere Anforderungen an ortsfeste Anlagen“ aufgeführt.

Die Windenergieanlage muss nach dem Stand der Technik so konstruiert und gefertigt sein, dass

- die von ihr verursachten elektromagnetischen Störungen den Pegel übersteigen, bei dem ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten oder anderen Betriebsmitteln nicht möglich ist;
- die Windenergieanlage gegen die bei bestimmungsgemäßem Betrieb zu erwartenden elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, um ohne unzumutbare Beeinträchtigung bestimmungsgemäß arbeiten zu können.

## 4.2 Konformität der Windenergieanlagen

Der Nachweis über die Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der EMV-Richtlinie wird durch Durchführung einer Messung der *endgültigen Emissionsmenge* erbracht.

Die Messungen der *endgültigen Emissionsmenge* sind verschiedene *in-situ*-Messungen, die an der repräsentativen Windenergieanlage der jeweiligen Mk-Version durchgeführt werden.

Die Zuverlässigkeitsanforderungen umfassen zusätzliche EMV-Testfälle, welche die in [Abschnitt 3 Blitzschutz auf Seite 4](#) beschriebenen Auswirkungen von Blitzschlägen behandeln.



In situ kommt aus dem Lateinischen und bedeutet wörtlich „vor Ort“.

## 4.3 Anerkannte Regeln der Technik

Zur Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik hat Vestas einige individuelle Richtlinien entwickelt, die sich besonders mit der Aufstellung spezieller Bauteile in einer Windenergieanlage befassen.

Die Beurteilung der EMV- und Blitzschutz-Installationsmethoden erfolgt auf Systemebene.

## 4.4 Komponentenübergreifende Konformität

Zur Gewährleistung komponentenübergreifender Konformität müssen alle elektronischen Bauteile aufgrund der anspruchsvollen Blitzumgebung die generischen EMV-Konformitätsanforderungen sowie die Zuverlässigkeitsanforderungen von Vestas erfüllen.

Hinsichtlich der Immunität gegenüber ausgestrahlten und leitungsgeführten Störungen erfüllen alle in der Windenergieanlage verbauten Komponenten die jeweiligen Produktnormen oder zumindest die Vorschriften von IEC 61000-6-2 Ed. 3 und IEC 61400-24 Ed. 2. Für elektronische Komponenten gilt im Hinblick auf die Beurteilung der funktionalen Sicherheit die Norm IEC 61326-3-1 Ed. 2.

Für die interne Umgebung gelten die Emissionsanforderungen aus der Norm IEC 61000-6-4 Ed. 3 oder die entsprechenden Produktnormen für Komponenten.

## GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME

zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-  
Standort Forst-Briesnig 3




**TÜV NORD Referenznr.:** 2024-WND-RB-292-R0

**Datum:** 13.09.2024

Gegenstand der Prüfung	Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Forst-Briesnig 3
Kunde	LEAG Renewables GmbH Leagplatz 1 03050 Cottbus

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	
Geprüft durch	

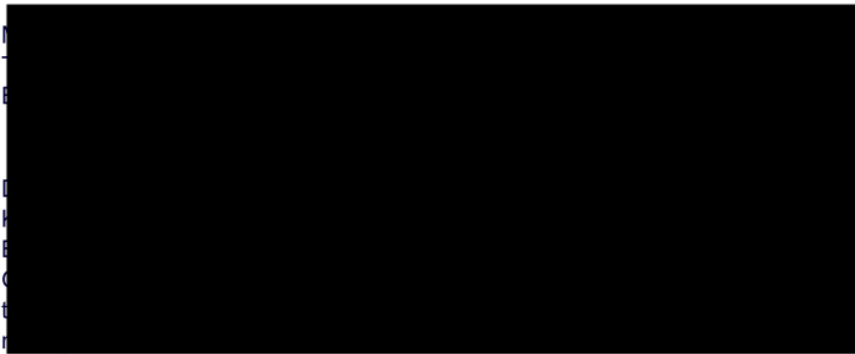
WEA-Typ	P <sub>Nenn</sub> [MW]	D [m]	NH [m]
Vestas V172	7,2	172,0	175,0

Herausgeber

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
Große Bahnstraße 31 • 22525 Hamburg  
Geschäftsführung: Silvio Konrad, Dr. Hans Koopman  
Amtsgericht Hamburg • HRA 100227  
USt.-IdNr.: DE 813992777 • Steuer-Nr.: 27/628/00023

Für weitere Auskünfte

Urheberrechtshinweis



Änderungshistorie

Rev.	Datum	Änderung
0	13.09.2024	Erste Ausgabe

Eingereichte Unterlagen:

- WEA-Spezifikationen: Nennleistung, Drehzahlbereich, Rotordurchmesser und Nabenhöhe /1/.
- Lageplan mit Darstellung der WEA und der Schutzobjekte /2/.
- Angabe einer möglichen Überhöhung der WEA gegenüber den Schutzobjekten /3/.
- Weibull-Parameter A und k sowie die Windrichtungsverteilung auf Nabenhöhe /4/.
- Angaben zu dem Eiserkennungssystem der WEA /5/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und des WEA-Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /6/.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Angaben zum Windenergieanlagen-Standort .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Risikoanalyse.....</b>	<b>7</b>
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall .....</i>	<i>7</i>
3.1.1	Vereisungspotential.....	7
3.1.2	Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf).....	8
3.1.3	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs .....	8
3.1.4	Gefährdungsradius.....	9
3.2	<i>Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 durch Eisabwurf.....</i>	<i>11</i>
3.2.1	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs .....	11
3.2.2	Trefferhäufigkeiten .....	11
<b>4</b>	<b>Modell- und Datenunsicherheiten.....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Risikobewertung .....</b>	<b>14</b>
5.1	<i>Eisabwurf .....</i>	<i>14</i>
5.2	<i>Eisabfall .....</i>	<i>14</i>
5.3	<i>Empfohlene risikoreduzierende Maßnahmen .....</i>	<i>15</i>
5.4	<i>Abschließende Risikobewertung .....</i>	<i>15</i>
<b>6</b>	<b>Rechtsbelehrung .....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Formelzeichen und Abkürzungen.....</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Literatur- und Quellenangaben.....</b>	<b>19</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/.....	6
Abbildung 2:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ( $v = 20,4 \text{ m/s}$ ). .....	10
Abbildung 3:	Auftreffpunkte bei Eisabwurf. Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	12
Abbildung 4:	Trefferhäufigkeiten [ $1/\text{m}^2$ ] pro Eisabwurf. Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	13

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Idealisierte Eisobjekte.....	9
Tabelle 2:	Ermittelte maximale Wurfweiten.....	9
Tabelle 3:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabwurf), *alles außerhalb der Zone 4.....	12



# 1 Aufgabenstellung

Am Standort Forst-Briesnig 3 in Brandenburg plant die LEAG Renewables GmbH die Errichtung von 14 Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V172 mit 175,0 m Nabenhöhe (NH) und 172,0 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verläuft die Bundesstraße B112.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /21/ § 5 Abs. 1 Nr. 1 sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Eisobjekte sind im Sinne des BImSchG als „sonstige Gefahr“ zu betrachten, der Einfluss auf das Schutzniveau der Umwelt ist für den jeweiligen Standort zu bewerten (standortbezogene Risikobeurteilung).

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit nicht durch die geplanten WEA beeinträchtigt wird. In der durch das Bundesland Brandenburg eingeführten Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen /22/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabwurf und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /22/ gelten Abstände größer als  $1,5 \times (D + NH)$  im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme einer Sachverständigen oder eines Sachverständigen erforderlich.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der LEAG Renewables GmbH mit Schreiben vom 13.05.2024 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der nahegelegenen Bundesstraße B112 durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA. Die Stellungnahme beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

1. Darstellung des geplanten Projekts mit Angaben zu den Eigenschaften der geplanten WEA und dem Standort.
2. Ermittlung und Darstellung von Kenngrößen zur Risikobewertung.
3. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
4. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte bei den WEA des Typs Vestas V172 am WEA-Standort Forst-Briesnig 3 in Abhängigkeit der Ergebnisse der Risikobewertung. Dies umfasst eine Einordnung der Ergebnisse sowie die Nennung umgesetzter und/oder möglicher weiterer Maßnahmen zur Risikominderung.

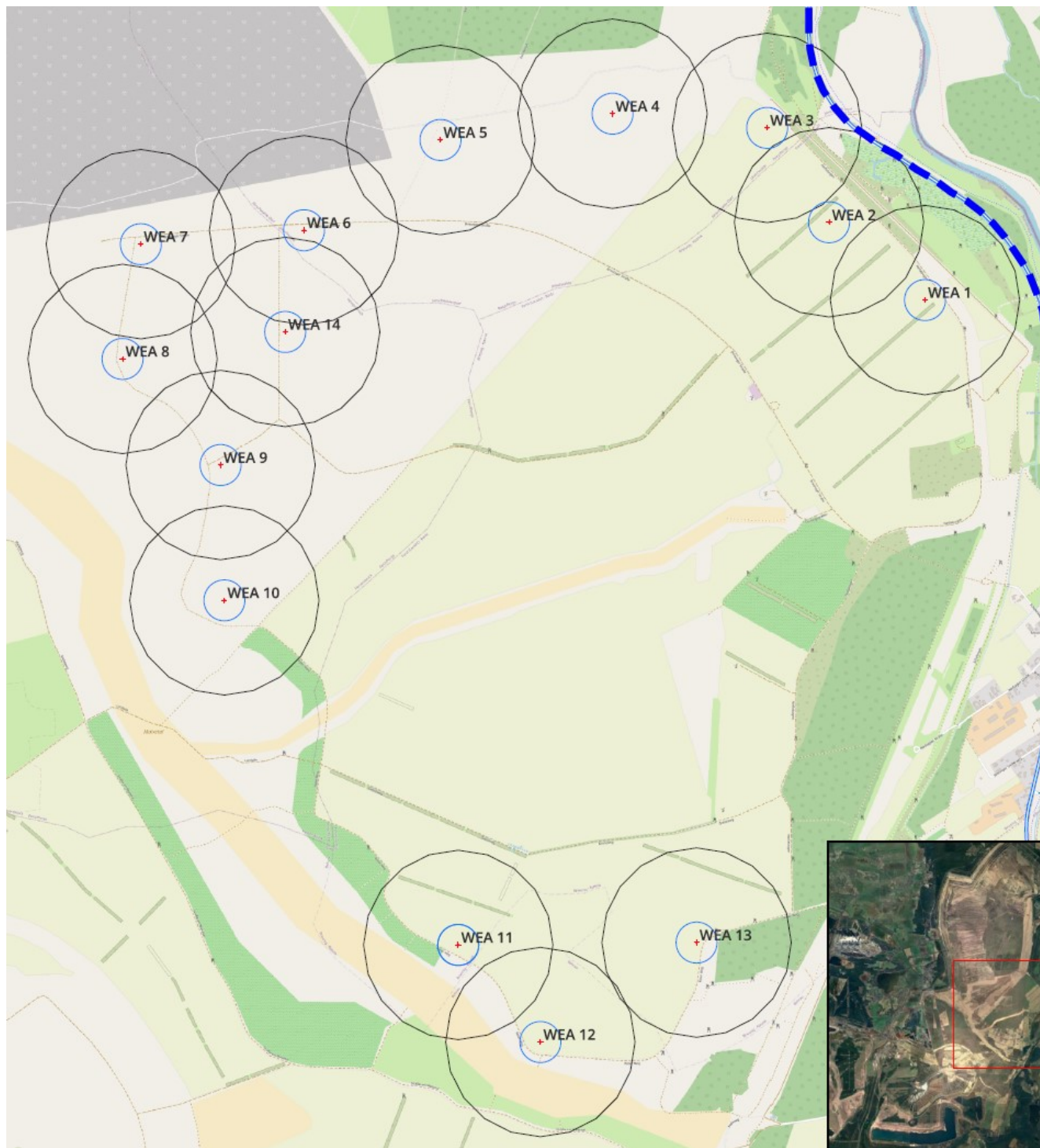
Eine weitere Analyse des möglichen Schadensverlaufs durch Eisabwurf/Eisabfall (z. B. Gebäudeschäden, Fahrzeugschäden, Umweltschäden, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe, Schadensbeurteilung) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme. Die Risikobeurteilung erfolgt auf Grundlage der eingereichten Unterlagen. Es wird ausschließlich die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt. Zusätzlich wird die land- und forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege berücksichtigt. Mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der geplanten WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme. Für die WEA-Spezifikationen der geplanten WEA wurden die benannten Spezifikationen berücksichtigt (siehe Seite 2).

Die in dieser Stellungnahme verwendeten Randbedingungen und Rechnungen orientieren sich an den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen /24/, /25/.



## 2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V172 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.



**Abbildung 1:** Lageplan /2/.

Beim umliegenden Gelände der geplanten WEA im Windpark Forst-Briesnig 3 handelt es sich um eine Teilfläche des Tagebaus Jänschwalde, in dem bis 2023 Braunkohle abgebaut wurde. Nach der Rekultivierung wird die Fläche hauptsächlich land-, forst- und energiewirtschaftlich genutzt.

Östlich der geplanten WEA 1 bis WEA 3 verläuft die Bundesstraße B112 (siehe Abbildung 1, blau gestrichelte Linie). Der kürzeste Abstand der WEA 3 (WEA-Mittelpunkt) zur Bundesstraße B112 beträgt ca. 285 m bei einer Überhöhung der WEA 3 gegenüber der Bundesstraße B112 von ca. 5 m /3/.

Die Angaben zum Standort wurden den übermittelten Unterlagen /2/, /3/, /6/ entnommen.

## 3 Risikoanalyse

### 3.1 Eisabwurf und Eisabfall

Eisstücke oder Eiszapfen, die aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit herabgeschleudert werden oder herunterfallen, können für Verkehrsteilnehmer:innen im Trefferbereich eine ernste Gefahr darstellen. Durch Eisbildung an Gebäuden sind in Gebieten mit starker Eisbildung bereits Personen durch herabfallende Eisstücke zu Schaden gekommen.

Geschlossene Fahrzeuge bieten Schutz, könnten aber beschädigt werden. Bei Fahrzeugen in Bewegung könnten im Falle eines Treffers reflexartige Reaktionen der Fahrerin oder des Fahrers zu Unfällen führen. So stellen beispielsweise herabfallende Eisplatten von LKW mit Planenaufbau für Verkehrsteilnehmer:innen eine nicht zu vernachlässigende Gefahr dar. Unfälle durch herabfallende Eisplatten von LKW mit Personen- und Sachschäden werden im Winter regelmäßig gemeldet. Das Schadenspotential durch Eisabwurf oder Eisabfall von WEA ist vergleichbar mit dem von Eisplatten, welche sich von LKW mit Planenaufbau lösen können.

Grundlegend muss bei der Bewertung von vereisten WEA zwischen den Gefährdungen durch Eisabwurf und Eisabfall unterschieden werden. Der Eisabwurf ist das Abwerfen eines Eisobjektes während des Betriebes der WEA, das Eisobjekt wird dabei durch die drehende Rotorbewegung beschleunigt. Der Eisabfall ist das Abfallen eines Eisobjektes bei abgeschalteter WEA (Trudelbetrieb), hierbei wird das Eisobjekt im Fallen durch den Wind abgetrieben. Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern einer WEA ist zunächst zu prüfen, ob die WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügt. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Drehung des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden.

Für die standortbezogene Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall wird im Rahmen der Risikoanalyse das Eiserkennungssystem zur Verhinderung des Eisabwurfs dargestellt. Darauf folgend wird abhängig von der Bewertung des Eiserkennungssystems entweder die Gefährdung durch Eisabfall oder durch Eisabwurf ermittelt. Die Ergebnisse werden in der Risikobewertung (siehe Kapitel 5) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

#### 3.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind außerdem die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemein gültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /16/, /17/, /18/.

Aufgrund des Tragflächenprinzips von WEA-Rotorblättern sinkt der Luftdruck infolge der Beschleunigung der Luft an der Hinterseite der Rotorblätter (Bernoulli-Effekt). Durch den plötzlichen Druckabfall kommt es zu einer Verringerung der Lufttemperatur. Dieser Effekt kann die Vereisung der Rotorblätter

bei bestimmten Wetterlagen verstärken. Während Eisablagerungen bei entsprechender Schichtstärke zu einer Gefährdung führen können, stellen Reif- und Schneeablagerungen für die Umgebung keine Gefahr dar. Eisabfall von Rotorblättern tritt nach jeder Vereisungswetterlage mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich dann nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie z. B. Brücken oder Strommasten.

Für den Standort Forst-Briesnig 3 ist gemäß den Eiskarten Europas /8/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /9/, /10/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /11/ im Mittel mit ca. zehn möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungsereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Hierzu nutzt TÜV NORD die Erkenntnisse zweier Studien, in denen beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte von WEA statistisch erfasst wurden (am Standort Gütsch in der Schweiz an einer WEA mit 22,0 m Rotorradius und an drei Standorten in Schweden an WEA mit 45,0 m Rotorradius) /14/, /15/. Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung einer Dunkelziffer an nicht erfassten Eisobjekten auf den geplanten WEA-Typ übertragen. Auf Basis des in /24/ dargestellten Ansatzes wird die Anzahl der beobachteten Eisobjekte auf größere Rotorradien hochskaliert. Daraus ergeben sich für die WEA des Typs Vestas V172 ca. 130 Eisobjekte pro Vereisungsereignis.

### 3.1.2 Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)

Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern der WEA ist zunächst zu prüfen, ob die geplanten WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügen. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von den abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Rotation des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden.

Im Rahmen der Risikobewertung soll beurteilt werden, ob die geplanten WEA mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem auszurüsten sind /5/, um eine unzulässige Gefährdung durch Eisabwurf zu verhindern.

Für die Bewertung, welche WEA mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem zur Verhinderung des Eisabwurfs ausgerüstet werden sollten, werden im Folgenden die Gefährdungen durch Eisabwurf von den WEA im Betrieb betrachtet. Die Ergebnisse werden im Kapitel 5 entsprechend bewertet.

### 3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs

Für die Berechnungen der maximalen Wurfweiten werden die folgenden Rahmenbedingungen angenommen:

- WEA-Typ: Vestas V172 mit 175,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabwurf: entspricht der maximalen Anlagendrehzahl von 9,6 U/min.
- Lageparameter des Rotorblattes: Die Stellung des Rotorblattes wird zur Ermittlung der maximalen Eisabwurfweite in der Rotationsebene der Rotorblätter schrittweise variiert.
- Lageparameter des Eisobjekts: Das Eisobjekt befindet sich an der Rotorblattspitze.
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe.
- Windrichtung: Der Wind kommt aus beliebiger Richtung und weht in horizontaler Richtung orthogonal zur Rotorebene. Eine entsprechende Stellung der WEA ist durch die automatische Windnachführung gegeben.

- Windgeschwindigkeit: Für die Windgeschwindigkeit wird das 99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung auf Nabenhöhe ermittelt. Diese Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe ist hinreichend konservativ gewählt, da sie zu 99,9% nicht überschritten wird und zudem für die gesamte Flugbahn angesetzt wird.
- Physikalische Parameter: Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , Luftdichte  $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$  (konservativ aufgerundet bei  $0^\circ\text{C}$  Lufttemperatur).
- Für die geplanten WEA wurde auf Basis der eingereichten Höhendaten /3/ die maximale Überhöhung gegenüber der Bundesstraße B112 ermittelt und für den gesamten Windpark zugrunde gelegt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden von der LEAG Renewables GmbH zur Verfügung gestellt /4/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

Über die anzusetzende Form und Größe der Eisobjekte gibt es nur wenige belastbare Angaben. Die zur Verfügung stehenden Angaben deuten darauf hin, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2,0 kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen /7/, /8/, /13/. Zudem hat sich in Feldstudien /13/ gezeigt, dass das Gewicht der Eisobjekte für die Fallweite von geringer Relevanz ist. Die Flugeigenschaften werden im Wesentlichen von der Geometrie und dem  $c_w$ -Wert (Strömungswiderstandskoeffizient) beeinflusst.

Um den Einfluss von unterschiedlichen Eisobjekten zu berücksichtigen, werden für die Berechnungen idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe angesetzt. Die Gewichte der Eisobjekte werden unter Berücksichtigung der Kenntnisse aus /13/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [ $\text{kg/m}^3$ ]	Form	mittlere Fläche [ $\text{m}^2$ ]	mittlerer $c_w$ -Wert [-]
1	1,0	700	Würfel	0,013	1,11
2	1,0	700	Quader	0,015	1,14
3	1,0	700	Quader	0,019	1,17
4	1,0	700	Platte	0,026	1,23
5	1,0	700	Platte	0,035	1,31

**Tabelle 1:** Idealisierte Eisobjekte.

### 3.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 261 m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 20,4 m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /4/) auf Basis der in Tabelle 1 angegebenen Eisobjekte die maximale Wurfweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 2 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
20,4	290,0	279,3	285,9	314,2	349,5

**Tabelle 2:** Ermittelte maximale Wurfweiten.



Die ermittelte maximale Wurfweite ist der Tabelle 2 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Wurfweite ist in der nachfolgenden Abbildung 2 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Abschnitte der Bundesstraße B112 durch den Gefährdungsradius der geplanten WEA 3 überdeckt werden. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse auf Basis einer Simulation des Eisabfalls für die WEA 3 durchgeführt (siehe Kapitel 3.2).

Für die hauptsächlich land-, forst- und energiewirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege (untergeordnete Freizeitnutzung) /6/ wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabwurf innerhalb der ermittelten Gefährdungsradien qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 5).



**Abbildung 2:** Gefährdungsradius – rot gestrichelt ( $v = 20,4 \text{ m/s}$ ).

## 3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 durch Eisabwurf

### 3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs

Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /19/, /20/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden pro WEA 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V172 mit 175,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabwurf In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich 0 – 9,6 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet (Weibull-Parameter A und k).
- Physikalische Parameter: Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , Luftdichte  $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$  (konservativ aufgerundet bei 0°C Lufttemperatur).
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe gemäß Kapitel 3.1.3.
- Lageparameter des Eisobjekts:  
Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /12/ ist eine Eisbildung am Ende des Rotorblattes ca. dreimal häufiger zu beobachten als am Ansatz des Rotorblattes.
- Lageparameter der Rotorblätter: Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationsebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall (0°, 360°) gleichverteilt.
- Für die geplante WEA 3 wurde auf Basis der eingereichten Höhendaten /3/ die maximale Überhöhung gegenüber der Bundesstraße B112 ermittelt und konservativ für die gesamte betroffene Strecke zugrunde gelegt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden von der LEAG Renewables GmbH zur Verfügung gestellt /4/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

### 3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabwurf wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.360 Eisabwurf-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (zehn Vereisungstage pro Jahr mit je 136 Eisobjekten). In Abbildung 3 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabwurf-Ereignissen von der WEA 3 dargestellt.

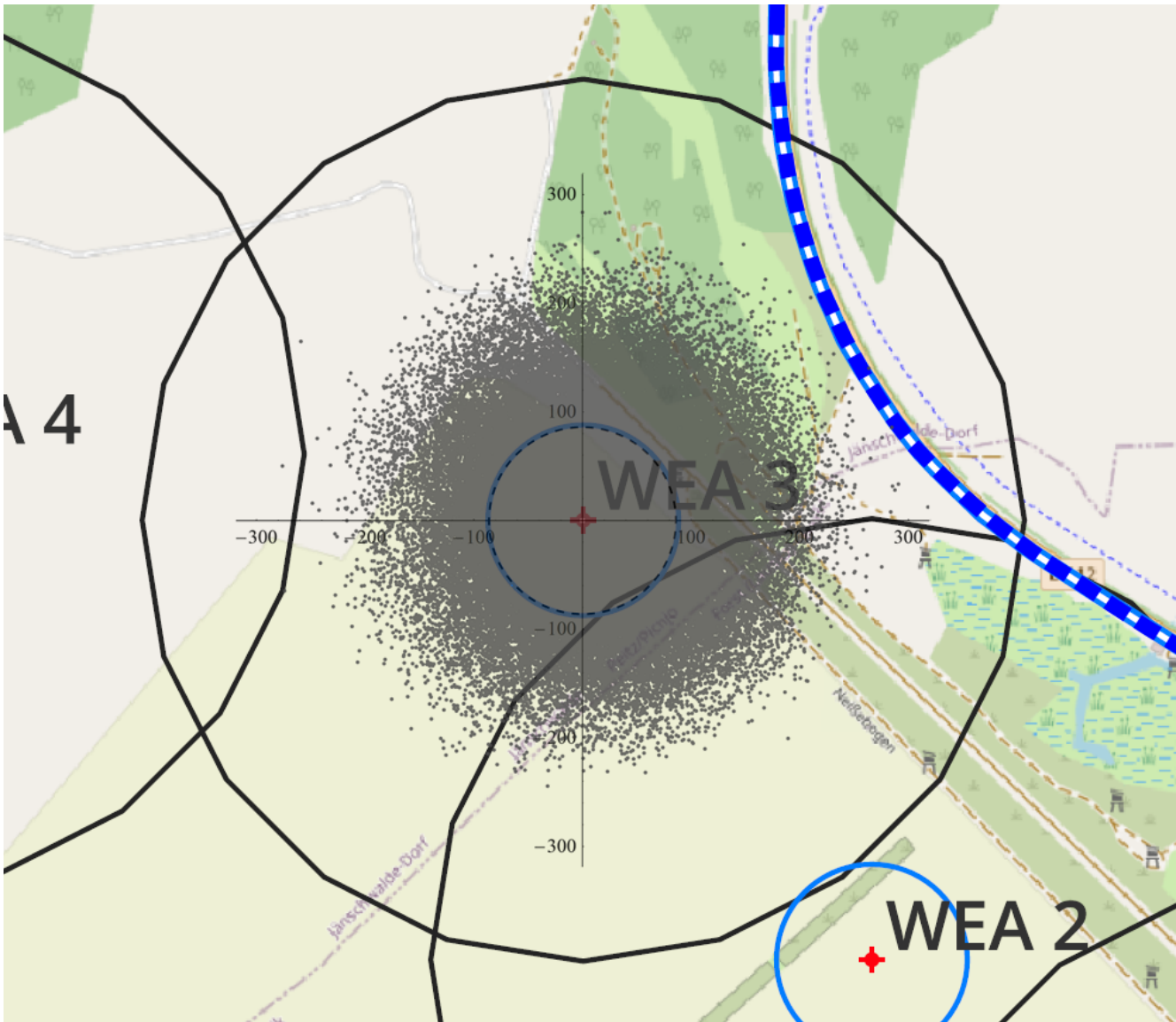
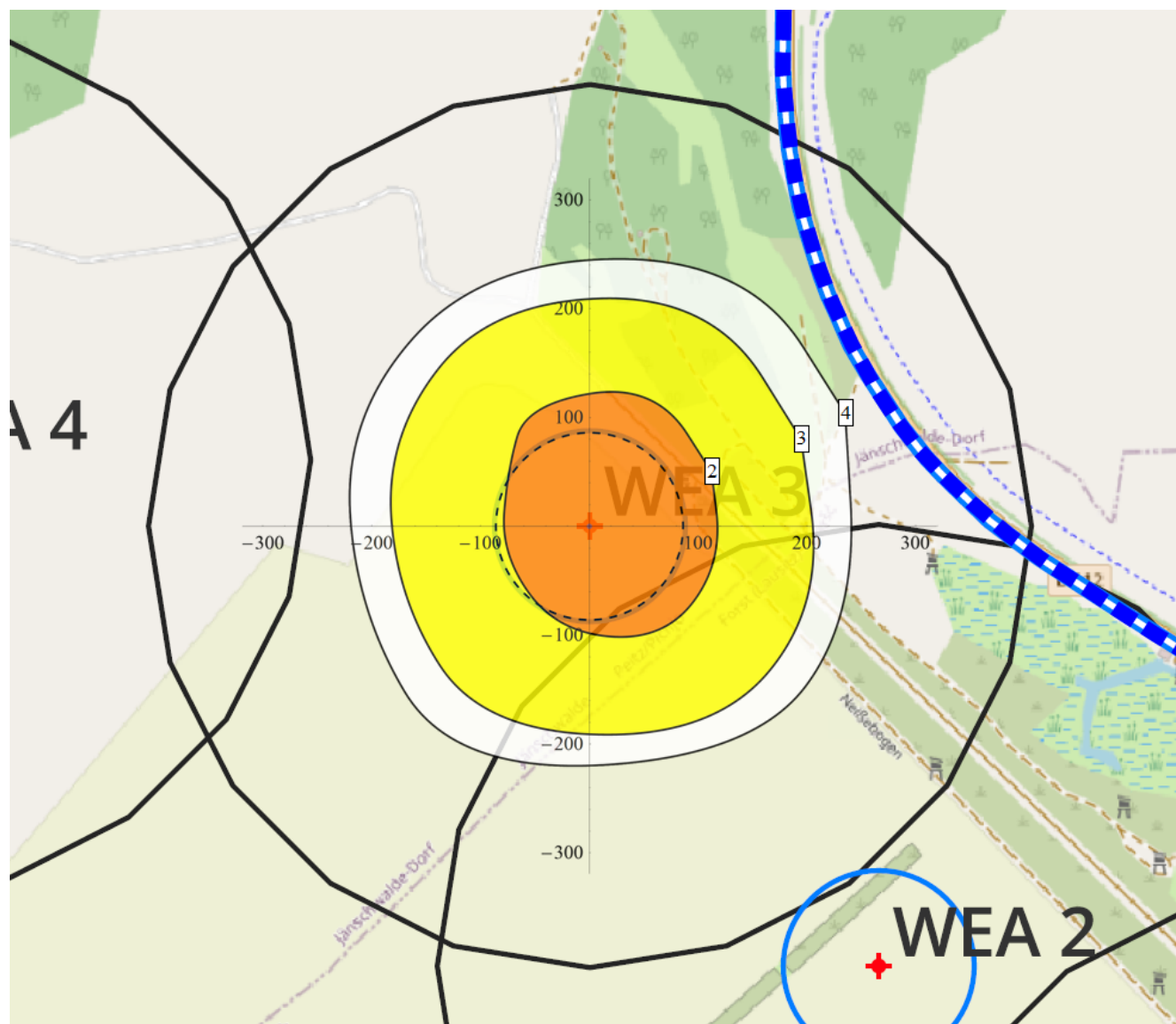


Abbildung 3: Auftreffpunkte bei Eisabwurf. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 4 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro Quadratmeter und Eisabwurf-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche sowie der möglichen Treffer durch Eisabwurf pro Jahr und Quadratmeter sind in der Tabelle 3 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m²]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m²)]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 1,4E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,4E-02 bis 1,4E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,4E-03 bis 1,4E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,4E-04 bis 1,4E-03
5*	Farblos	kleiner 1,0E-07	kleiner 1,4E-04

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabwurf),  
\*alles außerhalb der Zone 4.



**Abbildung 4:** Trefferhäufigkeiten [ $1/m^2$ ] pro Eisabwurf. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabwurfs in Abbildung 4 zeigen, dass die Bundesstraße B112 außerhalb des durch Eisabwurf direkt gefährdeten Bereichs liegt.

## 4 Modell- und Datenunsicherheiten

Um den Aufwand der Analyse zu begrenzen, wurden vereinfachte Annahmen und Randbedingungen getroffen. Sämtliche Vereinfachungen sind dabei stets konservativ gewählt worden.

Generell können Modellrechnungen die Realität nur annähernd erfassen und sind daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung zu verwenden. Die ermittelten Ergebnisse gelten nur unter den genannten Randbedingungen und unter Annahme der Richtigkeit der eingereichten Unterlagen. Es ist davon auszugehen, dass eine Abgrenzung der Gefährdungsbereiche im Ereignisfall in der Realität nicht so scharf ist, wie in den Ergebnissen dargestellt. Insofern sind die dargestellten Ergebnisse als ungefähre Darstellung zu verstehen und dienen der Orientierung.



## 5 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Forst-Briesnig 3 in Brandenburg plant die LEAG Renewables GmbH die Errichtung von 14 WEA des Typs Vestas V172 mit 175,0 m NH und 172,0 m D. In der Nähe der geplanten WEA verläuft die Bundesstraße B112.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA vorliegt. Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

### 5.1 Eisabwurf

Aufgrund des geplanten Verzichts eines unabhängig geprüften und zertifizierten Eiserkennungssystems /5/ wurde die mögliche Gefahr durch Eisabwurf von den geplanten WEA betrachtet, wodurch sich die Gefährdungsbereiche um die WEA im Vergleich zum Eisabfall von der abgeschalteten WEA (Trudelbetrieb) vergrößern.

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabwurf ist zu erkennen, dass die land-, forst- und energiewirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege (untergeordnete Freizeitnutzung) in der näheren Umgebung der geplanten WEA durch Eisabwurf betroffen sind. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 durch Eisabwurf ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.2.2. nicht anzunehmen.

Für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege ist eine Gefährdung durch Eisabfall nicht anzunehmen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen landwirtschaftlichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit geringem land- und forstwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten hier forstwirtschaftliche Arbeiten im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt. Bei Forstarbeiten im Freien wird üblicherweise ein Helm getragen bzw. kommen bei größeren Durchforstungsmaßnahmen überdachte Maschinen zum Einsatz. Diese bieten einen Schutz gegen möglichen Eisabfall. Sollten landwirtschaftliche Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise ebenfalls in überdachten Maschinen ausgeführt. Die Fahrer:innen land- und forstwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabfallende Eisobjekte geschützt. Sie haben über sich ein festes Dach und vor sich eine senkrechte Scheibe. Ein von oben herabstürzendes Eisobjekt könnte demnach auf das Dach fallen. TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt das Metaldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Hinsichtlich der energiewirtschaftlichen Nutzung ist anzunehmen, dass das Personal vor Ort gemäß ArbSchG und BetrSichV über die Gefahren vor Ort unterrichtet ist.

### 5.2 Eisabfall

Da sich die Gefährdungsbereiche durch Eisabwurf rund um die WEA im Vergleich zum Eisabfall von der abgeschalteten WEA (Trudelbetrieb) weiter ausdehnen, ist eine unzulässige Gefährdung durch Eisabfall von der abgeschalteten WEA (Trudelbetrieb) auf Basis der ermittelten Ergebnisse zum Eisabwurf ebenfalls nicht anzunehmen.

### 5.3 Empfohlene risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Kapitel 3 empfiehlt TÜV NORD die folgenden Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Durch Hinweisschilder (mind. im Abstand der 1,3-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftswegen auf die Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzer:innen der Wirtschaftswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm /24/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall hinweist.
- Die Mitarbeitenden betroffener Forstbetriebe sollten im Rahmen der Sicherheitsunterweisung nach §12 Arbeitsschutzgesetz /23/ über die Gefährdungen durch Eisabwurf/Eisabfall unterrichtet werden. Zur Unterweisung gehören auch die vorgesehenen Warnhinweise, welche eine Eisabwurf-/Eisabfallgefahr anzeigen. Durch die Betreiberin oder den Betreiber der geplanten WEA sind die hierfür benötigten Unterlagen für die betroffenen Forstbetriebe zur Verfügung zu stellen.

### 5.4 Abschließende Risikobewertung

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass in der Realität nicht jeder Treffer zu einem lebensbedrohlichen Unfall führen wird (dies betrifft die Geschwindigkeit und das Gewicht der Eisobjekte, die Trefferfläche sowie die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zum Zeitpunkt des Treffers des Eisobjekts),
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /6/ hauptsächlich land-, forst- und energiewirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher geringen Frequenzierung ausgegangen werden kann,
- dass davon auszugehen ist, dass der land- und forstwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen erfolgt (landwirtschaftlicher Verkehr ist im Winter außerhalb der Wirtschaftsperiode als eher gering anzusehen),
- dass Forstarbeiten im Freien in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt werden, sowie dass bei Forstarbeiten ein Helm getragen wird und grundsätzlich von einem erhöhten Gefahrenpotential durch brechende Äste / Bäume und durch die Arbeit mit der Kettensäge ausgegangen werden muss,
- dass Wartungsarbeiten in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen stattfinden und das Servicepersonal über die Gefahr durch Eisabfall informiert ist,
- dass Warnhinweise zur Warnung vor akuter Eisabwurf-/Eisabfallgefahr an allen möglichen Zugängen zum Windpark aufgestellt werden sollen und hierüber die Möglichkeit zur Gefahrenvermeidung gegeben ist,

ist das nach Umsetzung obiger Maßnahmen zur Eiserkennung bzw. Abschaltung bei Eisansatz und Risikominderung verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 sowie den umliegenden Wirtschaftswegen als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Brandenburg /22/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabfalls und Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von  $1,5 \times (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})$ “

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /21/ § 5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine unzulässige Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B112 sowie den umliegenden Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall der 14 geplanten WEA am Standort Forst-Briesnig 3 nach Umsetzung der genannten Maßnahmen zur Risikominderung nicht anzunehmen.

## 6 Rechtsbelehrung

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme ist nur in ihrer Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden übermittelten Dokumente.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG leistet keine Gewähr für die Erfüllung von Vorhersagen. Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der eingereichten Unterlagen und Angaben und für durch unrichtige Angaben bedingte falsche Aussagen oder abgeleitete Empfehlungen.

Die von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG erbrachten Leistungen (z. B. Gutachten-, Prüf- und Beratungsleistungen) dürfen nur im Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks verwendet werden. Vorbehaltlich abweichender Vereinbarungen im Einzelfall, räumt TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG der LEAG Renewables GmbH an seinen urheberrechtsfähigen Leistungen jeweils ein einfaches, nicht übertragbares sowie zeitlich und räumlich auf den Vertragszweck beschränktes Nutzungsrecht ein. Weitere Rechte werden ausdrücklich nicht eingeräumt, insbesondere ist die LEAG Renewables GmbH nicht berechtigt, die Leistungen des Auftragnehmers zu bearbeiten, zu verändern oder nur auszugsweise zu nutzen.

Eine Veröffentlichung der Leistungen über den Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks hinaus, auch auszugsweise, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Eine Bezugnahme auf TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist nur bei Verwendung der Leistung in Gänze und unverändert zulässig.

Bei einem Verstoß gegen die vorstehenden Bedingungen ist TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG jederzeit berechtigt, der LEAG Renewables GmbH die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

7 Formelzeichen und Abkürzungen

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
a	Jahr	
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz	
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
D	Rotordurchmesser	[m]
h	Stunde	
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimale endogene Sterblichkeit	
min	Minute	
NH	Nabenhöhe	[m]
P <sub>Nenn</sub>	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	
WEA	Windenergieanlage(n)	

## 8 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ LEAG Renewables GmbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch LEAG Renewables GmbH mit E-Mail vom 25.07.2024.
- /2/ EP New Energies GmbH. Lageplan: Forst Briesnig 3, Stand: 10.07.2024. Übermittelt durch LEAG Renewables GmbH mit E-Mail vom 15.07.2024.
- /3/ LEAG Renewables GmbH. Angabe einer möglichen Überhöhung: Höhendaten Jänschwalde, Stand: 02.05.2024. Übermittelt durch LEAG Renewables GmbH mit E-Mail vom XX.XX.YYYY.
- /4/ GEO-NET Umweltconsulting GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten: Windverteilung. Übermittelt durch EP New Energies GmbH mit E-Mail vom 20.06.2024.
- /5/ LEAG Renewables GmbH. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch LEAG Renewables GmbH mit E-Mail vom 15.07.2024.
- /6/ LEAG Renewables GmbH. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch LEAG Renewables GmbH mit E-Mails vom 15.07.2024 und vom 02.09.2024.
- /7/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /8/ Tammelin, B. et al. Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014), ISBN 951-679-518-6. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland. 2000.
- /9/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1991-2020 (Rasterdaten). [www.dwd.de](http://www.dwd.de).
- /10/ Wichura, B. (DWD). The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icings, IWAIS 2013.
- /11/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /12/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /13/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /14/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
- /15/ Lunden, J. ICETHROWER Mapping and tool for risk analysis. Pöyry, Schweden. Winterwind, Skelleftea, Schweden. 2017.
- /16/ Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE); DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019; Windenergieanlagen – Teil 1 Auslegungsanforderungen (IEC 6140-1:2019). Dezember 2019.
- /17/ VTT Technical Research Centre of Finland. State-of-the-art of wind energy in cold climates. VTT WORKING PAPERS 152. ISBN 978-951-38-7493-3. 2010.
- /18/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /19/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /20/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.

- /21/ BImSchG. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 26.07.2023.
- /22/ Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung (Land Brandenburg). Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Fassung Mai 2023.
- /23/ ArbSchG. Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG). Deutschland. Fassung vom 31.05.2023.
- /24/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.
- /25/ IEC TS 61400-31. Wind energy generation systems – Part 31: Siting risk assessment. November 2023.