

# **GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME**

**zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-  
Standort Altenautal Erweiterung II**



**TÜV NORD Referenznr.:** 2024-WND-RB-494-R0

**Datum:** 11.12.2024

<b>Gegenstand der Prüfung</b>	Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Altenautal Erweiterung II
<b>Kunde</b>	WP Altenautal RE GmbH & Co. KG Im Mersch 3 33165 Lichtenau

**Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:**

<b>Verfasser</b>	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 11.12.2024
<b>Geprüft durch</b>	Dr. J. Hauschild Sachverständiger	Hamburg, 11.12.2024

<b>WEA-Typ</b>	<b>P<sub>Nenn</sub> [MW]</b>	<b>D [m]</b>	<b>NH [m]</b>
Vestas V172	7,2	172,0	199,0

**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**

M.Sc. N. Cromm  
Telefon: +49 40 8557-1754  
E-Mail: ncromm@tuev-nord.de

**Urheberrechtshinweis**

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

**Änderungshistorie**

Rev.	Datum	Änderung
0	11.12.2024	Erste Ausgabe

**Eingereichte Unterlagen:**

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

**Inhaltsverzeichnis**

**1 Aufgabenstellung ..... 6**

**2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort ..... 7**

**3 Risikoanalyse..... 9**

3.1 *Eisabwurf und Eisabfall* ..... 9

3.1.1 Vereisungspotential..... 9

3.1.2 Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)..... 10

3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs und Eisabfalls ..... 11

3.1.4 Trefferhäufigkeiten ..... 12

3.1.5 Individualrisiko..... 20

3.1.6 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)..... 21

**4 Bewertungsmaßstab ..... 22**

4.1 *Individualrisiko*..... 22

4.2 *Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)*..... 23

**5 Modell- und Datenunsicherheiten..... 24**

**6 Zusammenfassung und Risikobewertung ..... 24**

6.1 *Eisabwurf/Eisabfall* ..... 24

6.2 *Empfohlene risikoreduzierende Maßnahmen* ..... 26

6.3 *Abschließende Risikobewertung* ..... 26

**7 Rechtsbelehrung ..... 28**

**8 Formelzeichen und Abkürzungen..... 29**

**9 Literatur- und Quellenangaben ..... 30**

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Lageplan Süd: WEA ERW 1 bis ERW 4 /2/ .....7  
 Abbildung 2: Lageplan Nord: WEA ERW5 bis ERW 8 /3/. .....8  
 Abbildung 3: Auftreffpunkte bei Eisabwurf (Süd). Rotorblatradius weiß gestrichelt. .... 12  
 Abbildung 4: Auftreffpunkte bei Eisabfall (Süd). Rotorblatradius weiß gestrichelt. .... 13  
 Abbildung 5: Auftreffpunkte bei Eisabwurf (Nord). Rotorblatradius weiß gestrichelt. .... 14  
 Abbildung 6: Auftreffpunkte bei Eisabfall (Nord). Rotorblatradius weiß gestrichelt. .... 15  
 Abbildung 7: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabwurf (Süd). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. .... 16  
 Abbildung 8: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (Süd). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. .... 17  
 Abbildung 9: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabwurf (Nord). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. .... 18  
 Abbildung 10: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (Nord). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. .... 19

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Idealisierte Eisobjekte. .... 12  
 Tabelle 2: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabwurf/Eisabfall), \*alles außerhalb der Zone 4. .... 16  
 Tabelle 3: Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabwurf/Eisabfall. .... 21  
 Tabelle 4: Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabwurf/Eisabfall. .... 21  
 Tabelle 5: Gesamtgefährdung durch Eisabwurf bzw. Eisabfall für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1. .... 26

# 1 Aufgabenstellung

Im Projekt Altenautal Erweiterung II in Nordrhein Westfalen plant die WP Altenautal RE GmbH & Co. KG im Rahmen eines Repowering-Vorhabens die Errichtung von acht Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V172 mit 199,0 m Nabenhöhe (NH) und 172,0 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verläuft die Kreisstraße K1.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /37/ § 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 Nordrhein Westfalen eingeführten Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen /38/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabwurf und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /38/ 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 WP Altenautal RE GmbH & Co. KG mit Schreiben vom 28.05.2024 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 Kreisstraße K1 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. Qualitative Prüfung des Konzepts der Eiserkennung der WEA des Typs Vestas V172.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte bei den WEA des Typs Vestas V172 am WEA-Standort Altenautal Erweiterung II 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 Kreisstraße K1 durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt. Zusätzlich wird die land- und energiewirtschaftliche 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 /40/, /41/.

## 2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Altenautal ist durch land- und energiewirtschaftliche Nutzung geprägt. Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V172 ist dem Lageplan in Abbildung 1 und Abbildung 2 zu entnehmen (rot dargestellt). Bei den grün dargestellten WEA handelt es sich um Bestands-WEA.

Östlich der geplanten WEA verläuft die Kreisstraße K1 (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2, blau gestrichelte Linie). Der kürzeste Abstand der WEA ERW7 (WEA-Mittelpunkt) zur Kreisstraße K1 beträgt ca. 195 m.

Des Weiteren verlaufen innerhalb des Windparks einige Wirtschaftswege, die hauptsächlich land- und energiewirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) /6/. Östlich der WEA ERW1 befindet sich zudem ein Umspannwerk (siehe Abbildung 1, orange markiert).

Die Angaben zum Standort wurden den Übersichtskarten /2/, /3/ und der Standortbeschreibung /6/ entnommen.



**Abbildung 1:** Lageplan Süd: WEA ERW 1 bis ERW 4 /2/.

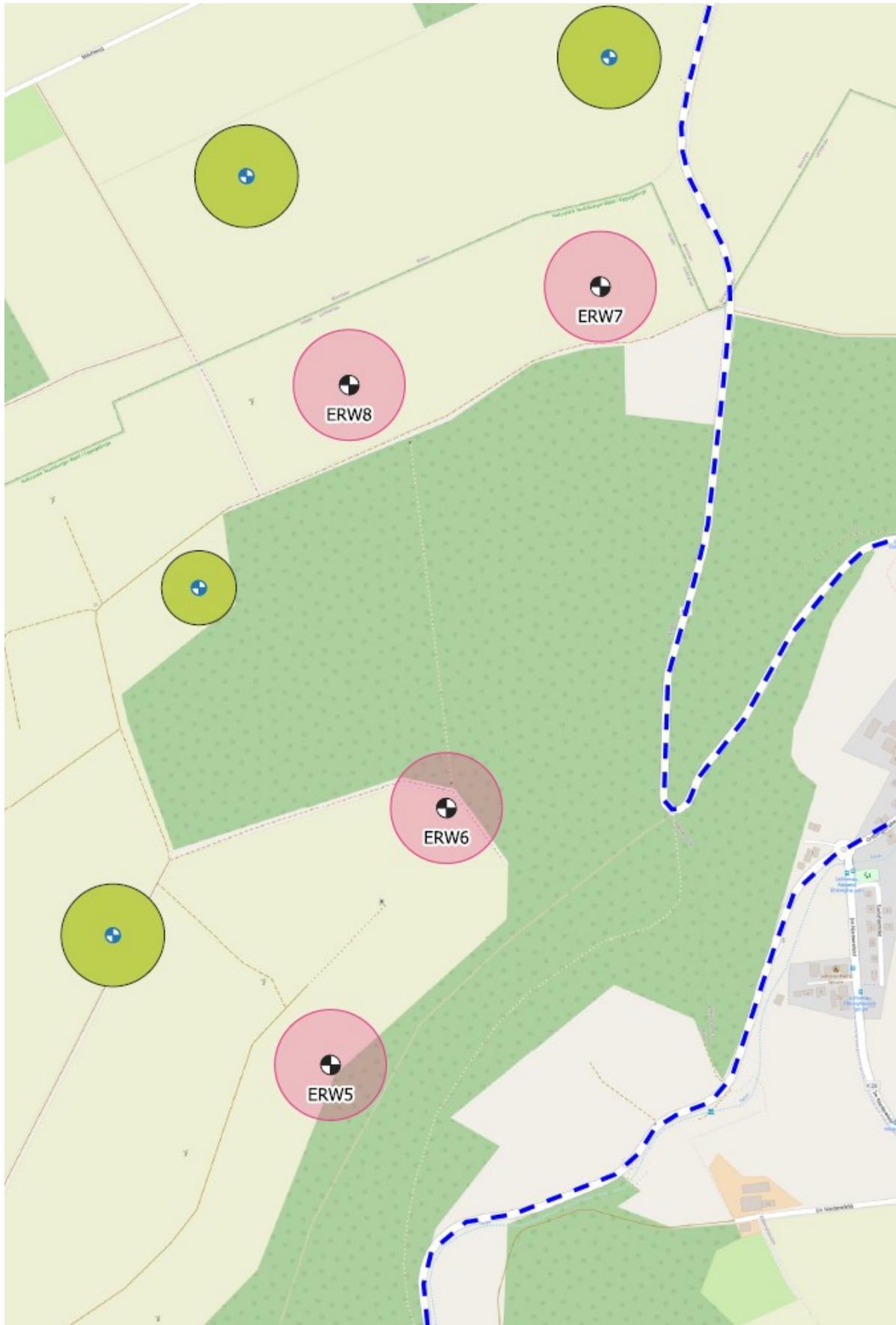


Abbildung 2: Lageplan Nord: WEA ERW5 bis ERW 8 /3/.

## 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 6) 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 /24/, /25/, /26/.

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 Altenautal ist gemäß den Eiskarten Europas /16/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /17/, /18/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das

VTT Technical Research Centre /19/ im Mittel mit ca. 14 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) /22/, /23/. Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung einer Dunkelziffer an nicht erfassten Eisobjekten auf den geplanten WEA-Typ übertragen. Auf Basis des in /40/ dargestellten Ansatzes wird die Anzahl der beobachteten Eisobjekte auf größere Rotorradien hochskaliert. Daraus ergeben sich für die WEA des Typs Vestas V172 ca. 136 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, welche der geplanten WEA mit dem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem Vestas Ice Detection (VID; BLADEcontrol) auszurüsten sind /5/, um eine unzulässige Gefährdung durch Eisabwurf zu verhindern.

Die Erkennung des Eisansatzes beruht beim VID (BLADEcontrol) auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /10/, /13/. Gemäß /13/ überschreitet die Empfindlichkeit das notwendige Maß, sodass eine Gefährdung der Umgebung durch Eisabwurf im laufenden Betrieb nicht anzunehmen ist. Ein Eisansatz wird erkannt, bevor dieser eine kritische Masse erreicht /13/.

Dadurch, dass VID (BLADEcontrol) auch bei Stillstand der WEA das Eis direkt an den Rotorblättern detektiert, kann die WEA bei Eisansatz nicht nur automatisch abgeschaltet werden, es wird auch die Eisfreiheit der Rotorblätter zeitnah gemessen /13/, /14/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /14/.

BLADEcontrol wurde nach DNV-SE-0439 „Zertifizierung der Zustandsüberwachung“ /11/ zertifiziert /12/. Mit /13/ wurde für die Eiserkennung mittels BLADEcontrol bestätigt, dass das System dem aktuellen Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /14/ wurde die Integration der Eiserkennung mittels BLADEcontrol in die Steuerung von Vestas-WEA in Hinblick auf eine zuverlässige Eiserkennung geprüft. Die Prüfung hat ergeben, dass die WEA bei Eisansatz sicher abgeschaltet werden und die Integration der Eiserkennung in die WEA-Steuerung dem aktuellen Stand der Technik entspricht /14/. Gemäß /13/ werden die behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei einer Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb als „sonstige Gefahr“ im Sinne des § 5 BImSchG erfüllt. Das vorgesehene System ist gemäß /13/ und /14/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

Bei Einbau des VID-Systems ist ein Wegschleudern kritischer Eismassen von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) nicht anzunehmen. Für die Bewertung, welche WEA mit dem VID-System ausgerüstet werden sollten, werden im Folgenden sowohl die Gefährdungen durch Eisabwurf von den WEA im Betrieb als auch die Gefährdungen durch Eisabfall von den abgeschalteten (trudelnden) WEA betrachtet. Die Ergebnisse werden im Kapitel 6 entsprechend bewertet.

### 3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs und Eisabfalls

Die Berechnung der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgt sowohl für WEA im Betrieb (Eisabwurf) als auch für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb; Eisabfall). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /33/, /34/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden pro WEA jeweils 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert. Für die WEA ERW7 werden aufgrund der Nähe zur Kreisstraße K1 für die Risikoeermittlung eine Million Trefferpunkte generiert, um ein noch genaueres Ergebnis zu erzielen.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V172 mit 199,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl
  - Eisabwurf: Drehzahlbereich 0 – 9,5 U/min /9/.
  - Eisabfall: Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,7 U/min /9/.
- 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.
- Lageparameter des Eisobjekts: Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /20/ ist eine Eisbildung am Ende des Rotorblattes ca. dreimal häufiger zu beobachten als am Ansatz des Rotorblattes.
- Lageparameter der Rotorblätter:  
Der Rotor kann sich im abgeschalteten Modus frei bewegen (Trudeln orthogonal zur Windrichtung möglich). Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationsebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall (0°, 360°) gleichverteilt.
- Für die Simulation des Eisabfalls wurde auf Basis eines digitalen Geländemodells /8/ die Topografie des WEA-Standortes berücksichtigt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden von der WP Altenautal RE GmbH & Co. KG 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 /15/, /16/, /21/. Zudem hat sich in Feldstudien /21/ 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 /21/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Form	mittlere Fläche [m <sup>2</sup> ]	mittlerer C <sub>w</sub> -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

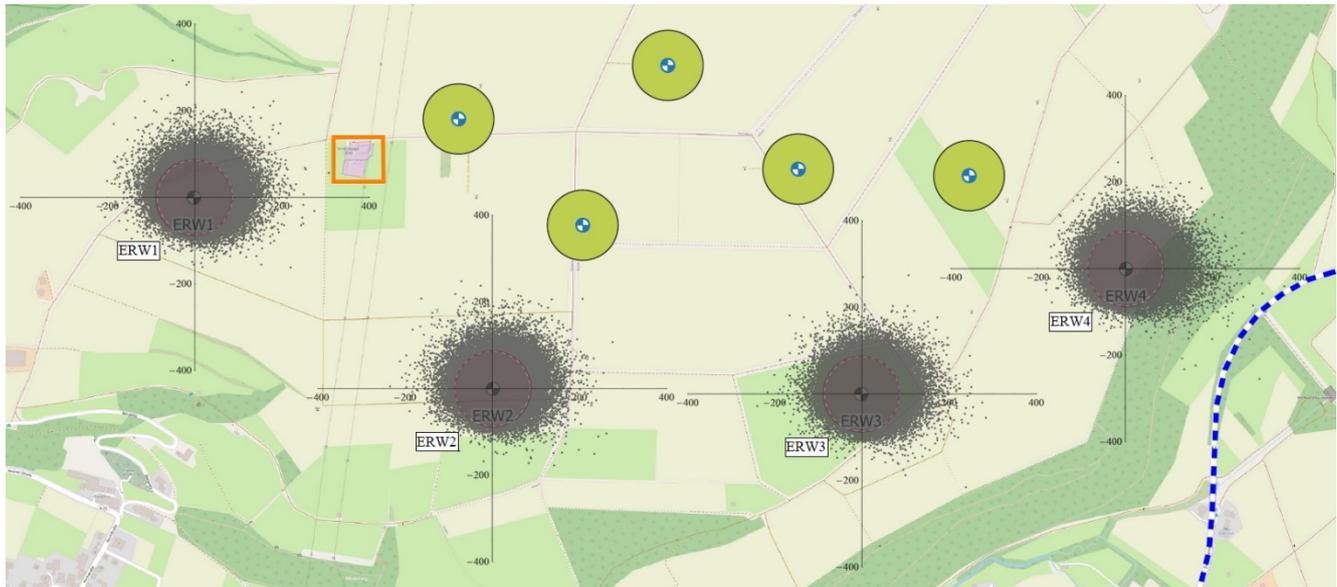
**Tabelle 1:** Idealisierte Eisobjekte.

### 3.1.4 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabwurf/Eisabfall wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.904 Eisabwurf- bzw. Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (14 Vereisungstage pro Jahr mit je 136 Eisobjekten). In Abbildung 3 bis Abbildung 6 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabwurf- bzw. Eisabfall-Ereignissen von der jeweiligen WEA dargestellt.



**Abbildung 3:** Auftreffpunkte bei Eisabwurf (Süd). Rotorblattradius weiß gestrichelt.



**Abbildung 4:** Auftreffpunkte bei Eisabfall (Süd). Rotorblattradius weiß gestrichelt.



Abbildung 5: Auftreffpunkte bei Eisabwurf (Nord). Rotorblattradius weiß gestrichelt.

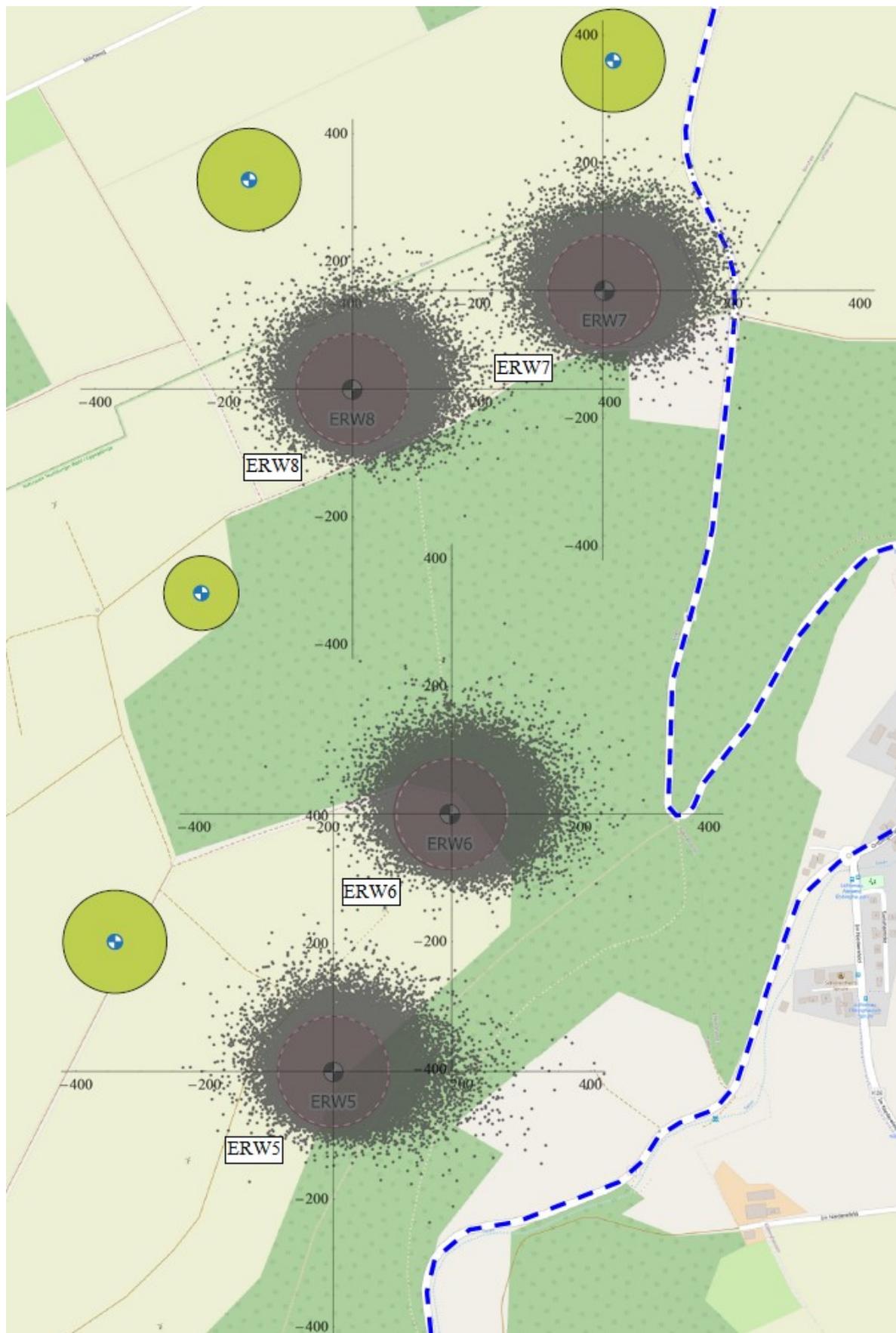


Abbildung 6: Auftreffpunkte bei Eisabfall (Nord). Rotorblattradius weiß gestrichelt.

In Abbildung 7 bis Abbildung 10 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro Quadratmeter und Eisabwurf- bzw. Eisabfall-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche sowie der möglichen Treffer durch Eisabwurf/Eisabfall pro Jahr und Quadratmeter sind in der Tabelle 2 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m <sup>2</sup> )]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 1,9E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,9E-02 bis 1,9E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,9E-03 bis 1,9E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,9E-04 bis 1,9E-03
5	Farblos	kleiner 1,0E-07	kleiner 1,9E-04

**Tabelle 2:** Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabwurf/Eisabfall),  
\*alles außerhalb der Zone 4.



**Abbildung 7:** Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabwurf (Süd). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.



Abbildung 8: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (Süd). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

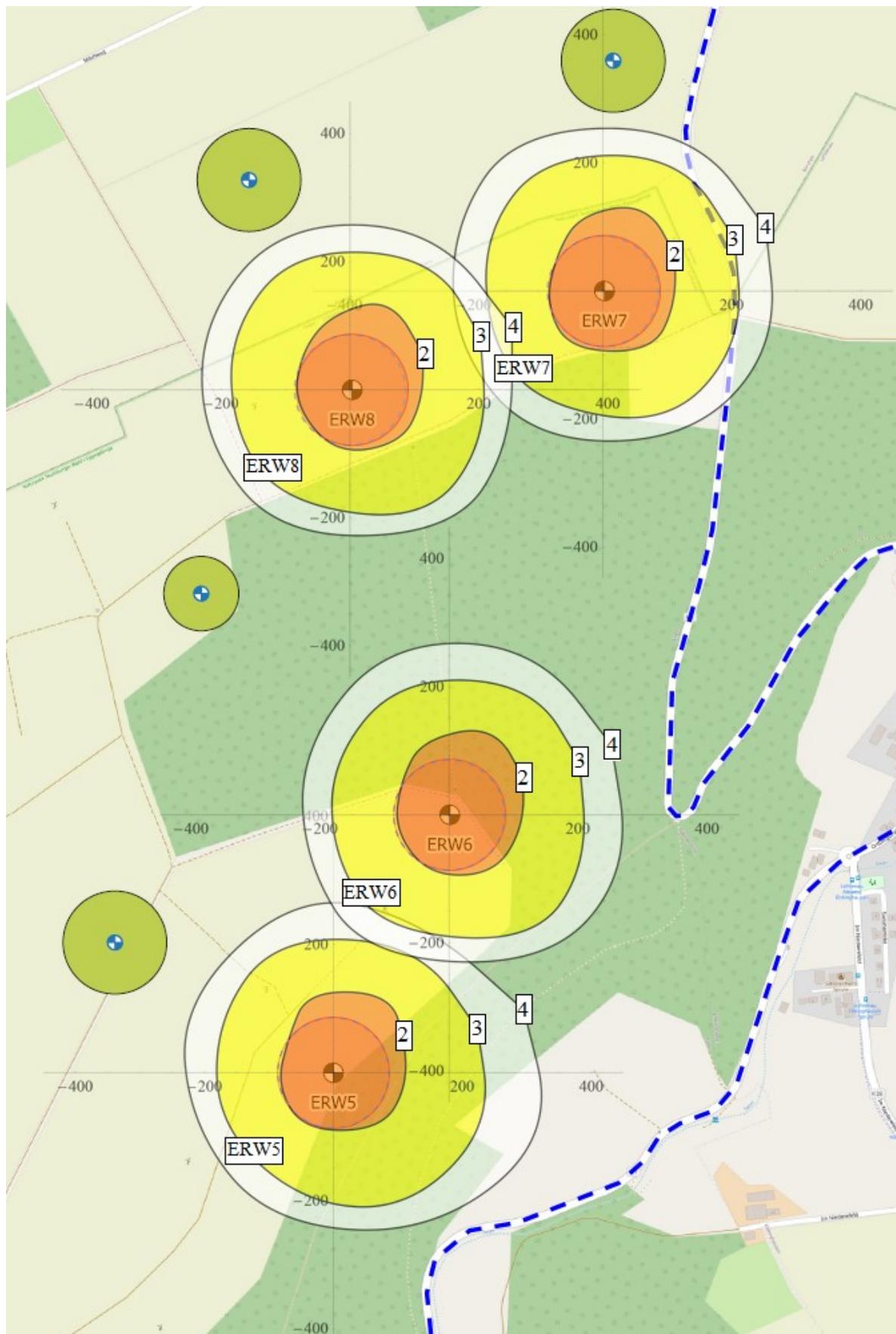


Abbildung 9: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabwurf (Nord). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

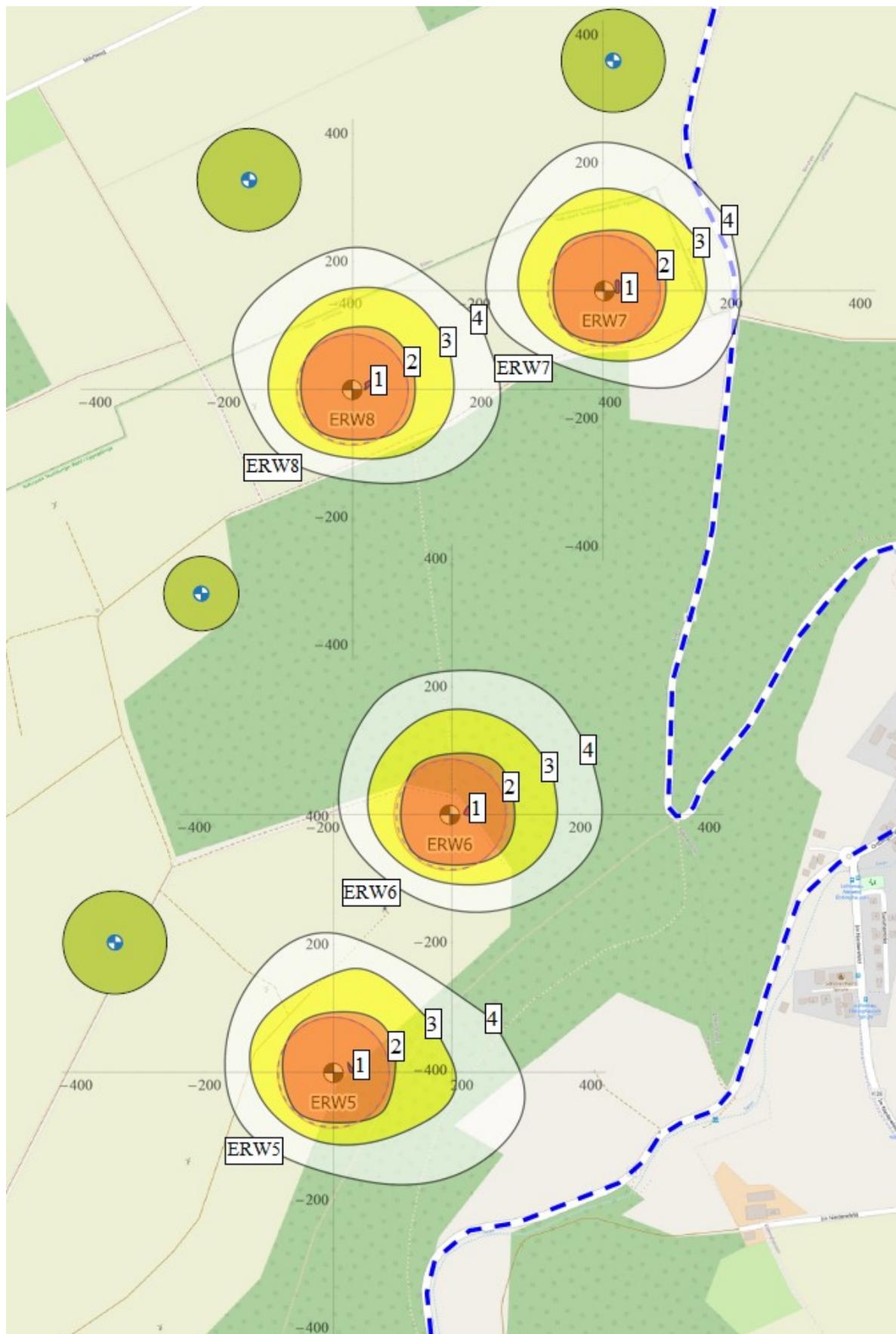


Abbildung 10: Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (Nord). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 7 zeigen, dass Abschnitte der Kreisstraße K1 von Teilen der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabwurf und Eisabfall von der WEA ERW7 überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.1.5 und Kapitel 3.1.6). Darüber hinaus ist zu erkennen, dass das Umspannwerk außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabwurf und Eisabfall der geplanten WEA liegt.

Für die land- und energiewirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege (untergeordnete Freizeitnutzung) /6/ wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabwurf bzw. Eisabfall qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

### 3.1.5 Individualrisiko

Auf Basis der Simulationsergebnisse wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund Eisabwurfs oder Eisabfalls von der geplanten WEA ERW7 zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Kreisstraße K1 konservativ eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höher angesetzten Geschwindigkeit erhöht wird.

Ein Eisabwurf oder Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Eisobjektes mit der Zeit und dem Ort des zu betrachtenden Fahrzeugs übereinstimmen. Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Vj} \cdot h_{EV} \cdot h_{TEj} \cdot A_T \cdot P_{VA} \cdot n_D \cdot P_{Aj} ,$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

$H_{Tj}$ : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).

$H_T$ : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

$h_{Vj}$ : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 3.1.1).

$h_{EV}$ : Häufigkeit Eisabwurf/Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).

$h_{TEj}$ : Häufigkeit der Treffer pro m<sup>2</sup> im Bereich j pro Eisabwurf/Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

$A_T$ : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird konservativ als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2 m<sup>2</sup> angesetzt). Diese Annahme ist für die Ermittlung des Individualrisikos insofern konservativ, als dass davon ausgegangen werden kann, dass nicht jeder Treffer der Windschutzscheibe diese durchschlägt bzw. einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat.

$P_{VA}$ : Wahrscheinlichkeit, an einem Vereisungstag anwesend zu sein,  $P_{VA} = 225/365$  (Annahme: Berufspendler:in). Nutzung an 225 Tagen im Jahr pro Person, z. B. Berufspendler:in, welche:r an 225 Tagen pro Jahr die Straße passiert.

$n_D$ : Anzahl der täglichen Fahrten durch den Bereich j,  $n_D = 2$  (Annahme: Berufspendler:in). Zwei Fahrten pro Tag, z. B. Berufspendler:in, welche:r die Straße zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).

$P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Fahrzeugs  $v_F$ , Länge des Straßenabschnitts  $l_j$ ),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 3 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr (Individualrisiko). Für die Risikobewertung wird konservativ angenommen, dass ein Treffer der Windschutzscheibe unabhängig von der Eisobjektgröße einen schweren oder tödlichen Unfall zur Folge hat.

WEA	Bereich	Gefährdung	Individualrisiko [Treffer/a]
ERW7	Kreisstraße K1	Eisabwurf	4,5E-06
		Eisabfall	2,4E-07

**Tabelle 3:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabwurf/Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 4,5E-06 Treffer/a erfolgt im Mittel ca. alle 222.222 Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabwurf. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.1.6 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.1.5), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K1 berücksichtigt. Daraus ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Vj} \cdot h_{EV} \cdot h_{TEj} \cdot h_{aVT} \cdot A_T \cdot P_{Aj}$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

$H_{Tj}$ : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).

$H_T$ : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

$h_{Vj}$ : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 3.1.1).

$h_{EV}$ : Häufigkeit eines Eisabwurfs/Eisabfalls pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).

$h_{TEj}$ : Häufigkeit der Treffer pro m<sup>2</sup> im Bereich j pro Eisabwurf/Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

$h_{aVT}$ : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K1 werden auf Basis der Angaben aus /7/ 1.208 Fahrzeuge pro Tag angesetzt.

$A_T$ : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2 m<sup>2</sup> angesetzt).

$P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Fahrzeugs  $v_F$ , Länge des Straßenabschnitts  $l_j$  aus Abbildung 7),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich für die Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K1 die in Tabelle 4 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter Streckenabschnitt. Für die Bewertung (siehe Kapitel 6) wird konservativ angenommen, dass ein Treffer der Windschutzscheibe unabhängig von der Eisobjektgröße einen schweren oder tödlichen Unfall zur Folge hat.

WEA	Bereich	Gefährdung	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(m*a)]
ERW7	Kreisstraße K1	Eisabwurf	9,2E-06
		Eisabfall	5,7E-07

**Tabelle 4:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabwurf/Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von  $9,2E-06$  Treffer/(m\*a) erfolgt im Mittel ca. alle 108.696 Jahre pro Meter Streckenabschnitt ein schwerer Unfall durch Eisabwurf. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

## 4 Bewertungsmaßstab

Da es in Deutschland kein einheitliches Risikoakzeptanzkriterium gibt, werden für die vorliegende Fragestellung verschiedene Quellen zur Ermittlung eines Risikogrenzwertes herangezogen:

- Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /27/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /28/.
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes /29/.
- Risk Criteria in EU /31/.
- Auswertung des VdTÜV /32/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /40/.

Zeigt es sich, dass sich das Risiko zu verunfallen infolge der betrachteten Gefährdung durch die WEA signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 10 % zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /27/).

Im Rahmen der Beurteilung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen im öffentlichen Straßenverkehr werden die Gefährdung der einzelnen Verkehrsteilnehmer:innen und die Gefährdung des Straßenverkehrs der Kreisstraße K1 berücksichtigt. Für die Bewertung einzelner Verkehrsteilnehmer:innen wird im Folgenden ein Bewertungsmaßstab für das Individualrisiko herangezogen (siehe Kapitel 4.1). Zur Beurteilung der Gesamtsituation ist neben der Bewertung des Individualrisikos auch die Betrachtung der Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) nötig. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen /29/ beurteilt (siehe Kapitel 4.2).

### 4.1 Individualrisiko

#### MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /27/ beschreibt die gegebene Sterberate pro Person und Jahr unter Berücksichtigung verschiedener Ursachen aus den Bereichen Freizeit, Arbeit und Verkehr. In wirtschaftlich gut entwickelten Ländern liegt die minimale endogene Sterblichkeit in der Gruppe der 5- bis 15-jährigen /27/. Die in /27/ getätigten Angaben decken sich mit Erhebungen der GBE /28/. Auf Basis des MEM-Prinzips lässt sich der Risikogrenzwert für das Individualrisiko zu  $1,0E-05$  pro Person und Jahr ableiten.

#### Freizeitunfälle

Auf Basis der Unfallstatistiken der GBE /28/ und der Bedingung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10 %), lässt sich der folgende Risikogrenzwert ableiten:

- Risiko eines tödlichen Freizeitunfalls:  $6,0E-06$  je Person und Jahr.

#### VdTÜV

Vom VdTÜV wurden in einer Auswertung /32/ die folgenden Risikogrenzwerte angegeben:

- Niederlande:  $1,0E-05/a$  für bestehende Anlagen,  $1,0E-06/a$  für geplante Anlagen.

- Deutschland, Empfehlung des VdTÜV: Solange keine offiziellen Werte für Deutschland festgelegt werden, schlagen die Verfasser vor, für das Individualrisiko den Wert für Neuanlagen in den Niederlanden mit  $1,0E-06/a$  zu verwenden.

Werden die in Kapitel 4 aufgeführten Quellen zur Ermittlung eines Risikoakzeptanzkriteriums verglichen, so zeigt sich, dass die Risikoakzeptanzkriterien in guter Übereinstimmung zueinander in einem Bereich von  $1,0E-06$  bis  $1,0E-05$  liegen. Zusammenfassend lässt sich für das Individualrisiko (lebensbedrohlicher Unfall/Jahr) folgendes feststellen:

- Der untere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von  $1,0E-06$  pro Person und Jahr.
- Der obere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von  $1,0E-05$  pro Person und Jahr.

Ein ermitteltes Individualrisiko unterhalb von  $1,0E-06$  pro Jahr wird als akzeptabel bewertet. Liegt das ermittelte Individualrisiko in einem Bereich größer-gleich  $1,0E-06$  pro Jahr und kleiner  $1,0E-05$  pro Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip (As Low As Reasonably Practicable) /31/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko größer-gleich  $1,0E-05$  pro Jahr wird als inakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Zur Ermittlung des gesamten Individualrisikos auf der Kreisstraße K1 am Standort Altenautal sind die einzelnen Individualrisiken aller WEA (inklusive Bestands-WEA) zu addieren.

## **4.2 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)**

Für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch die geplanten WEA im Projekt Altenautal Erweiterung II wird das allgemein vorliegende Risiko im Straßenverkehr betrachtet. Diesbezüglich ist in Anlehnung an die Straßenverkehrsordnung (StVO) /30/ der Bundesrepublik Deutschland die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten /30/ und darf durch den Zubau einer WEA nicht gefährdet werden. Für die Bewertung der Gefährdung des Straßenverkehrs werden die aktuellen Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes herangezogen /29/. Zeigt es sich, dass sich das Unfallrisiko des zu beurteilenden Straßenabschnittes signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 10 % zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der MEM, beschrieben in /27/). In Anlehnung an die Vorgaben der StVO /30/ werden für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs nicht nur die möglichen Unfälle mit tödlichem Ausgang betrachtet, sondern alle Unfälle mit einer schweren Unfallfolge herangezogen und bewertet.

Die Daten des Statistischen Bundesamtes zu den Verkehrsunfällen sind für unterschiedliche Situationen aufbereitet /29/. Für die Herleitung eines Risikogrenzwertes werden die Statistiken auf höherrangigen Straßen (Kreisstraßen, Landes- bzw. Staatsstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen) außerhalb geschlossener Ortschaften berücksichtigt. Für die letzten zehn Jahre ergibt sich hierfür im Mittel eine Wahrscheinlichkeit eines schweren Verkehrsunfalls mit Personenschäden von  $2,8E-01$  pro km und Jahr. Dies entspricht etwa einem schweren Verkehrsunfall mit tödlichem Ausgang bzw. schwerverletzten Personen alle 4 Jahre pro Kilometer Straßenabschnitt auf höherrangigen Straßen (außerorts).

Unter Berücksichtigung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10 %), ergibt sich daraus die obere Grenze des zu berücksichtigenden Risikogrenzwertbereichs für die Gefährdung des Straßenverkehrs zu  $2,8E-02$  schwere Verkehrsunfälle mit Personenschäden je Kilometer und Jahr bzw. zu  $2,8E-05$  pro Meter Straßenabschnitt und Jahr.

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /31/ leitet sich daraus der folgende Risikogrenzwertbereich für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs ab:

- Untere Grenze: Der untere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von  $2,8E-06$  pro Meter und Jahr.
- Obere Grenze: Der obere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von  $2,8E-05$  pro Meter und Jahr.

Bezogen auf die am Standort Altenautal Erweiterung II zu betrachtenden Straßenabschnitte bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb von  $2,8E-06$  pro Meter und Jahr als akzeptabel bewertet wird. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit in einem Bereich größer-gleich  $2,8E-06$  pro Meter und Jahr und kleiner  $2,8E-05$  pro Meter und Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /31/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Eine Unfallhäufigkeit größer-gleich  $2,8E-05$  pro Meter und Jahr wird als inakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Da die Gefährdung des Straßenverkehrs pro Meter ermittelt wird, erfolgt eine Addition der von einzelnen WEA ausgehenden Gefährdungen nur, wenn ein Straßenabschnitt von den Gefährdungsbereichen mehrerer WEA überdeckt wird.

## 5 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.

## 6 Zusammenfassung und Risikobewertung

Im Projekt Altenautal Erweiterung II in Nordrhein Westfalen plant die WP Altenautal RE GmbH & Co. KG im Rahmen eines Repowering-Vorhabens die Errichtung von acht WEA des Typs Vestas V172 mit 199,0 m NH und 172,0 m D. In der Nähe der geplanten WEA verläuft die Kreisstraße K1.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1 durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA vorliegt. Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

### 6.1 Eisabwurf/Eisabfall

Auf Basis der TÜV NORD zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von kritischem Eisabwurf (Kapitel 3.1.1) von drehenden Rotoren kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass unter Berücksichtigung des bei derartigen technischen Systemen grundsätzlich bestehenden Restrisikos für technisches Versagen das Ereignis kritischer Eisabwurf für die betrachteten WEA bei einem Einsatz des VID-Systems ausgeschlossen werden kann. Mit der Prüfung in /13/ und /14/ wurde für die Wirksamkeit des VID-Systems der aktuelle Stand der Technik bestätigt.

Auf Basis der ermittelten Gefährdungen durch Eisabwurf und Eisabfall ist zu erkennen, dass die land- und energiewirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile der Kreisstraße K1 durch Eisabwurf und Eisabfall der WEA betroffen sind. Die Kreisstraße K1 ist dabei ausschließlich durch die WEA ERW7 betroffen. Eine direkte Gefährdung von Personen auf dem Gelände des Umspannwerks ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.1.4. nicht anzunehmen.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege ist eine Gefährdung durch Eisabwurf oder Eisabfall nicht anzunehmen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit weniger landwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten dennoch Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in überdachten Maschinen ausgeführt, welche einen Schutz gegen möglichen Eisabwurf und Eisabfall bieten. Die Fahrer:innen landwirtschaftlicher 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 ein festes Fahrzeugdach durchschlagen hat.

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

Zur Ermittlung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1 durch Eisabwurf und Eisabfall von der geplanten WEA ERW7 wurden jeweils das Individualrisiko sowie die Gefährdung des Straßenverkehrs ermittelt (siehe Kapitel 3.1.5 und 3.1.6). Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem betroffenen Straßenabschnitt mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigen sich die folgenden Ergebnisse:

- Eisabwurf: Die ermittelten Risiken liegen beide innerhalb der hergeleiteten Risikogrenzwertbereiche und sind daher als tolerabel zu bewerten (ALARP-Bereich). Es sind jedoch Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und nach Möglichkeit umzusetzen. Bei der WEA ERW7 sollte daher das unabhängig geprüfte Eiserkennungssystem VID eingesetzt werden.
- Eisabfall: Die ermittelten Risiken liegen beide unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs und sind somit als akzeptabel zu bewerten.

Um sicherzugehen, dass die Gesamtgefährdung für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1 nach Inbetriebnahme der geplanten WEA akzeptabel ist, ist zusätzlich die Gefährdung durch Eisabfall von der nördlich der WEA ERW7 gelegenen Bestands-WEA des Typs ENERCON E-160 mit 166,6 m NH und 160,0 m D /1/ zu berücksichtigen. Hierzu wurden entsprechend dem in Kapitel 3 beschriebenen Vorgehen der Eisabfall von der Bestands-WEA simuliert und die Risiken für Verkehrsteilnehmer:innen bestimmt. Es ergibt sich ein Individualrisiko von  $5,2E-07$  Treffern pro Jahr und eine Gefährdung des Straßenverkehrs von  $1,7E-06$  Treffern pro Jahr und Meter Straßenabschnitt.

In Tabelle 5 sind die ermittelten Risiken durch Eisabwurf und Eisabfall von der geplanten WEA ERW7 sowie die Gesamtrisiken durch Eisabfall von der WEA ERW7 und der Bestands-WEA inklusive der zugehörigen Risikogrenzwertbereiche dargestellt.

Der Vergleich der ermittelten Gesamtrisiken mit den zugehörigen Risikogrenzwertbereichen zeigt, dass sowohl das Individualrisiko als auch die Gefährdung des Straßenverkehrs auch unter Mitberücksichtigung der Bestands-WEA unterhalb der hergeleiteten Risikogrenzwertbereiche liegen und somit als akzeptabel zu betrachten sind, vorausgesetzt die WEA ERW7 wird mit dem VID-Eiserkennungssystem ausgestattet.

Risiko	Gefährdung	Trefferhäufigkeit	Risikogrenzwertbereich
Individualrisiko	Eisabwurf WEA ERW7	4,5E-06 Treffer/a	1,0E-06 – 1,0E-05 Treffer/a
	Eisabfall WEA ERW7	2,4E-07 Treffer/a	
	Eisabfall inkl. Bestand	7,6E-07 Treffer/a	
Gefährdung des Straßenverkehrs	Eisabwurf WEA ERW7	9,2E-06 Treffer/(m*a)	2,8E-06 – 2,8E-05 Treffer/(m*a)
	Eisabfall WEA ERW7	5,7E-07 Treffer/(m*a)	
	Eisabfall inkl. Bestand	2,3E-06 Treffer/(m*a)	

**Tabelle 5:** Gesamtgefährdung durch Eisabwurf bzw. Eisabfall für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1.

## 6.2 Empfohlene risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 3.1.2), der mit /6/ übermittelten Informationen zur Nutzung der umliegenden Wirtschaftswege sowie der Ergebnisse aus Kapitel 3 empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die WEA ERW7 sollte mit dem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem VID ausgerüstet werden, um einen kritischen Eisabwurf auf die Kreisstraße K1 zu verhindern. Für die übrigen WEA ist der Einsatz des VID-Systems aus Sicht von TÜV NORD nicht zwingend erforderlich.
- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA ERW7 sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /35/, /36/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /39/ geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /35/, /36/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /39/ regelmäßig aufzuzeigen. Für die Inbetriebnahme des Eiserkennungssystems sollte die Anlernphase berücksichtigt werden. Ist die Anlernphase nicht vor den winterlichen Vereisungsereignissen abgeschlossen, so sind geeignete Maßnahmen zur Vermeidung eines Eisabwurfs vorzusehen.
- Durch Hinweisschilder (mind. im Abstand der 1,4-fachen Gesamthöhe der WEA bei Einsatz des VID-Systems und mind. im Abstand der 1,6-fachen Gesamthöhe der WEA bei einem Verzicht auf das VID-System) 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 /40/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall hinweist.

## 6.3 Abschließende Risikobewertung

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass in der Realität nicht jeder Treffer eines Eisobjekts 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- und energiewirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer sehr geringen Frequentierung ausgegangen werden kann,

- dass davon auszugehen ist, dass der landwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen oder Fahrzeugen erfolgt (landwirtschaftlicher Verkehr ist im Winter außerhalb der Wirtschaftsperiode als eher gering anzusehen),
- 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- und 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 Kreisstraße K1 sowie den umliegenden, hauptsächlich land- und energiewirtschaftlich genutzten Wirtschaftswegen als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen /38/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabfalls und Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von  $1,5 \times$  (Rotordurchmesser + Nabenhöhe)“

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /37/ § 5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine unzulässige Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K1 sowie den umliegenden, hauptsächlich land- und energiewirtschaftlichen Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall der acht geplanten WEA im Projekt Altenautal Erweiterung II nach Umsetzung der genannten Maßnahmen zur Risikominderung und unter Voraussetzung der als sehr gering anzunehmenden Frequentierung der Wirtschaftswegen nicht anzunehmen.

## 7 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 WP Altenautal RE GmbH & Co. KG an seinen urheberrechtlichfähigen 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 WP Altenautal RE GmbH & Co. KG 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 WP Altenautal RE GmbH & Co. KG die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

## 8 Formelzeichen und Abkürzungen

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

## 9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ European Energy A/S. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch WP Altenautal RE GmbH & Co. KG mit E-Mails vom 21.05.2024 und vom 12.11.2024.
- /2/ European Energy A/S. Übersichtskarte: Windpark Altenautal Erweiterung II (ERW1-ERW4). Übermittelt durch European Energy A/S mit E-Mail vom 03.10.2024.
- /3/ European Energy A/S. Übersichtskarte: Windpark Altenautal Erweiterung II (ERW5-ERW8). Übermittelt durch European Energy A/S mit E-Mail vom 03.10.2024.
- /4/ IEL GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten: Die Weibull-Verteilung, Stand: 23.08.2024. Übermittelt durch European Energy A/S mit E-Mail vom 11.10.2024.
- /5/ European Energy A/S. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch European Energy A/S mit E-Mail vom 11.10.2024.
- /6/ European Energy A/S. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch European Energy A/S mit E-Mail vom 11.10.2024.
- /7/ Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen. Online-Auskunft der Straßeninformationsdatenbank Nordrhein-Westfalen - Verkehrsdaten 2021.
- /8/ Nordrhein-Westfalen-Höhenmodell (5 m Raster) – Ein von EMD angepasstes Höhenmodell basierend auf dem 1 m Raster des Landesvermessungsamtes Nordrhein-Westfalen, <http://www.geobasis.nrw.de>.
- /9/ Vestas Wind Systems A/S. RPM Curves EnVentusTM V172-7.2 MW 50/60 Hz, Dokumentennr.: 0124-6634 V04, Stand: 08.07.2022.
- /10/ Vestas Wind Systems A/S. Allgemeine Spezifikation Vestas Eiserkennungssystem (VID) V105 / V112 / V117 / V126 / V136 - 3.45 / 3.6 MW 50 / 60 Hz V117 / V136 / V150 – 4.0 / 4.2MW 50 / 60 Hz V150 5.6 / 6.0 MW 50 / 60 Hz V162 – 5.6 / 6.0 / 6.2 MW 50 / 60Hz V162 / V172 – 7.2 MW 50 / 60 Hz, Dokumentennr.: 0049-7921 V15, Stand: 13.10.2022.
- /11/ DNV GL AS. Service Specification DNV-SE-0439: Certification of condition monitoring. Oktober 2021.
- /12/ DNV Renewables Certification. Typenzertifikat: Rotorblatt-Überwachungssystem Vestas Ice Detector (VID). TC-DNV-SE-0439-09298-0, Stand: 20.10.2022, gültig bis: 19.10.2024.
- /13/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 8, Stand 24.11.2022.
- /14/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System – Integration des BLADEcontrol Ice Detector BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen, Report Nr.: 75172, Rev. 6 Stand: 18.10.2021.
- /15/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /16/ 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.
- /17/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1991-2020 (Rasterdaten). [www.dwd.de](http://www.dwd.de).
- /18/ 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.
- /19/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /20/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.

- /21/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /22/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAI 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
- /23/ Lunden, J. ICETHROWER Mapping and tool for risk analysis. Pöyry, Schweden. Winterwind, Skelleftea, Schweden. 2017.
- /24/ 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.
- /25/ 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.
- /26/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /27/ DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Oktober 2018.
- /28/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /29/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2023.
- /30/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Fassung vom 12.07.2021.
- /31/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /32/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /33/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /34/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /35/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /36/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /37/ BImSchG. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 03.07.2024.
- /38/ Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Gleichstellung des Landes Nordrhein-Westfalen. Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen NRW (VV TB NRW). Ausgabe Oktober 2023.
- /39/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.
- /40/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.
- /41/ IEC TS 61400-31. Wind energy generation systems – Part 31: Siting risk assessment. November 2023.