

# **GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME**

**zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-  
Standort Vellahn**



**TÜV NORD Referenznr.:** 2023-WND-RB-282-R1

**Datum:** 31.01.2024

<b>Gegenstand der Prüfung</b>	Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Vellahn
<b>Kunde</b>	Windpark Vellahn GmbH & Co. KG Windmühlenberg 24814 Sehestedt

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

<b>Verfasser</b>	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 31.01.2024
<b>Geprüft durch</b>	B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger	Hamburg, 31.01.2024

<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	175,0

**Herausgeber**

**TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG**  
Große Bahnstraße 31•22525 Hamburg  
Geschäftsführung: Silvio Konrad, Jan Radtke  
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	17.07.2023	Erste Ausgabe
1	31.01.2024	Bewertung der Personengefährdung auf dem Verbindungsweg zwischen den Ortschaften Vellahn und Banzin

**Eingereichte Unterlagen:**

- WEA-Spezifikationen: Nennleistung, Rotordurchmesser und Nabenhöhe /1/.
- Koordinaten der geplanten WEA /2/.
- Lageplan mit Darstellung der WEA und der Schutzobjekte /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/.

**Anlagenherstellerin:** Vestas Wind Systems A/S  
Hedeager 42  
8200 Aarhus N, Dänemark

**Inhaltsverzeichnis**

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

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

**3 Risikoanalyse..... 8**

3.1 *Eisabwurf und Eisabfall* ..... 8

3.1.1 Vereisungspotential..... 9

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

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

3.1.4 Gefährdungsradius..... 12

3.2 *Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg und dem Verbindungsweg durch Eisabfall*..... 14

3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls ..... 14

3.2.2 Trefferhäufigkeiten ..... 14

3.2.3 Individualrisiko..... 20

**4 Bewertungsmaßstab ..... 21**

4.1 *Individualrisiko*..... 21

**5 Modell- und Datenunsicherheiten..... 22**

**6 Zusammenfassung und Risikobewertung ..... 22**

6.1 *Eisabwurf* ..... 22

6.2 *Eisabfall Straße und Wirtschaftswege* ..... 23

6.3 *Empfohlene risikoreduzierende Maßnahmen* ..... 23

6.4 *Risikobewertung*..... 24

**7 Rechtsbelehrung ..... 25**

**8 Formelzeichen und Abkürzungen..... 26**

**9 Literatur- und Quellenangaben ..... 27**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /3/.....	7
Abbildung 2:	Fallweiten bei 19,5 m/s Windgeschwindigkeit. ....	12
Abbildung 3:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ( $v = 19,5$ m/s). ....	13
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Eisabfall (WEA 9). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	15
Abbildung 5:	Auftreffpunkte bei Eisabfall (WEA 4 und WEA 5). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	16
Abbildung 6:	Wahrscheinlichkeitszonen [ $1/m^2$ ] pro Eisabfall (WEA 9). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	18
Abbildung 7:	Gefährdungszonen - Schadensbeurteilung: Wahrscheinlichkeitszonen [ $1/m^2$ ] pro Eisabfall (WEA 4 und WEA 5). Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Koordinaten der geplanten WEA /2/.....	8
Tabelle 2:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung. ....	10
Tabelle 3:	Idealisierte Eisobjekte.....	11
Tabelle 4:	Ermittelte maximale Fallweiten. ....	12
Tabelle 5:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.....	17
Tabelle 6:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.....	20

# 1 Aufgabenstellung

Am Standort Vellahn in Mecklenburg-Vorpommern plant die Windpark Vellahn GmbH & Co. KG die Errichtung von neun 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 der Vellahner Weg.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /28/ §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 (siehe auch /29/), 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 Mecklenburg-Vorpommern eingeführten Liste der Technischen Baubestimmungen /26/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /26/ 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 Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit Schreiben vom 19.05.2023 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Mit der nun vorliegenden Revision 1 wurde zusätzlich eine Analyse für die Gefährdung von Personen auf dem Verbindungsweg zwischen Vellahn und Banzin durch Eisabfall durchgeführt und das Risiko bewertet. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg, dem Verbindungsweg zwischen den Ortschaften Vellahn und Banzin und den umliegenden Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA. Die Stellungnahme beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

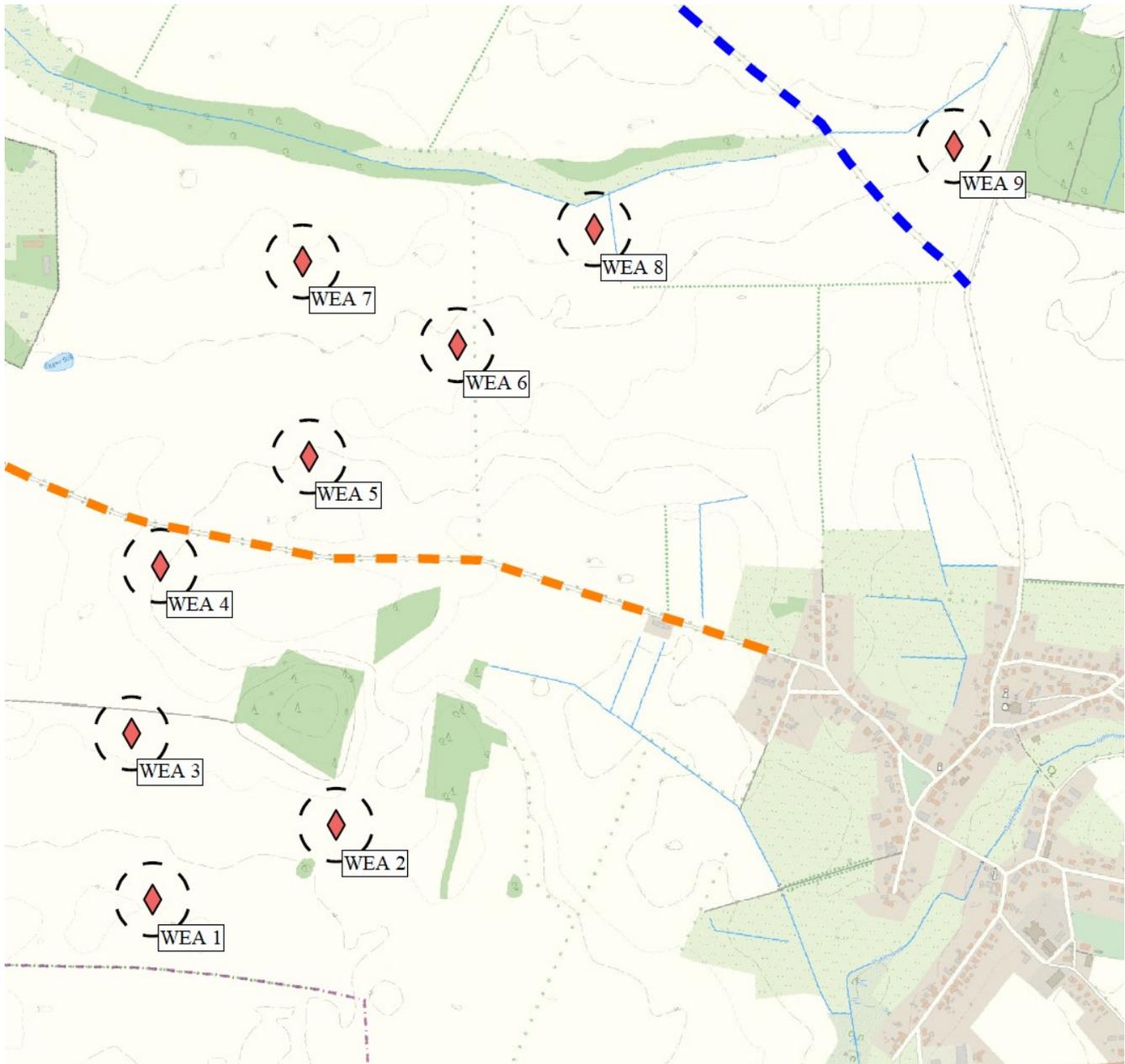
1. Darstellung des geplanten Projekts mit Angaben zu den Eigenschaften der geplanten WEA und dem Standort.
2. Ermittlung und Darstellung von Kenngrößen zur Risikobewertung.
3. Qualitative Prüfung des Konzepts der Eiserkennung der WEA des Typs Vestas V172.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte bei den WEA des Typs Vestas V172 am WEA-Standort Vellahn 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 dem Vellahner Weg und dem Verbindungsweg zwischen den Ortschaften Vellahn und Banzin durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt. Zusätzlich wird die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswegen 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 zum Eisabwurf und Eisabfall basieren auf den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen von Eisabwurf und Eisabfall von WEA /37/.

## 2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V172 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen, die Koordinaten der geplanten WEA sind in Tabelle 1 aufgeführt.



**Abbildung 1:** Lageplan /3/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Vellahn ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen der Vellahner Weg (siehe Abbildung 1, blau gestrichelte Linie) sowie der Verbindungsweg zwischen den Ortschaften Vellahn und Banzin (siehe

Abbildung 1, orange gestrichelte Linie). Der kürzeste Abstand der WEA 9 (WEA-Mittelpunkt) zum Vellahner Weg beträgt ca. 210 m. Der kürzeste Abstand der WEA 4 (WEA-Mittelpunkt) zum Verbindungsweg beträgt ca. 94 m. Der Verbindungsweg, der nicht asphaltiert ist und im Winter nicht geräumt wird, wird hauptsächlich zu landwirtschaftlichen Zwecken genutzt, eine darüberhinausgehende regelmäßige Nutzung durch PKW oder Fußgänger:innen ist nicht anzunehmen /6/. Des Weiteren verlaufen am Standort mehrere Wirtschaftswege, welche überwiegend landwirtschaftlich und zur Erschließung der WEA genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) /6/.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /3/ und der Standortbeschreibung /6/ entnommen.

WEA-Nr.	Koordinaten UTM, ETRS 89, Zone 32	
	Rechtwert [m]	Hochwert [m]
1	628.836	5.918.178
2	629.248	5.918.388
3	628.755	5.918.563
4	628.788	5.918.959
5	629.112	5.919.245
6	629.435	5.919.534
7	629.059	5.919.699
8	629.730	5.919.832
9	630.549	5.920.097

**Tabelle 1:** Koordinaten der geplanten WEA /2/.

### 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 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 die Gefährdung durch Eisabfall 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 /22/, /23/, /24/.

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 Vellahn ist gemäß den Eiskarten Europas /14/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /16/, /17/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /15/ im Mittel mit ca. neun möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungsereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Im Rahmen des Schweizer Forschungsprojekts „Alpine Test Site Gütsch“ /19/, /20/, /21/ wurden unter anderem beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte einer WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m statistisch erfasst. So wurden in vier Jahren mind. 250 Eisobjekte beobachtet /21/. Unter Berücksichtigung der in /20/ ausgewiesenen Häufigkeit der Vereisung für den Standort Gütsch mit 10 bis 30 Tagen pro Jahr lässt sich somit die Anzahl von Eisfragmenten pro Vereisung zu

$$\frac{250 \text{ Eisobjekte}}{4 \text{ Jahre} \cdot 10 \text{ Vereisungen / Jahr}} \approx 7 \text{ Eisobjekte / Vereisung}$$

abschätzen. Da davon auszugehen ist, dass ein erheblicher Anteil der Eisobjekte nicht erfasst wurde, setzt TÜV NORD für die Anzahl der Eisabwurf- bzw. Eisabfallereignisse, unter Berücksichtigung einer geschätzten Dunkelziffer von 100%, einen Wert von 14 Eisobjekten pro Vereisung an.

Da die Studie „Alpine Test Site Gütsch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen, wobei eine Zunahme der Anzahl an Eisobjekten je Vereisung relativ zu  $D^2$  angenommen wird /37/. In Tabelle 2 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	Verhältnis	Eisobjekte/ Vereisung
ENERCON E-40/6.44	44,0	1.936	1,0	ca. 14
Vestas V172	172,0	29.584	15,3	ca. 215

**Tabelle 2:** Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.

### 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. Sofern erforderliche Abstände zu den relevanten Schutzobjekten in Bezug auf eine mögliche Gefahr durch Eisabwurf nicht eingehalten werden (siehe Kapitel 1), ist die Funktionssicherheit der Eiserkennung mit einer gutachterlichen Stellungnahme einer oder eines Sachverständigen nachzuweisen /26/.

Für die Eiserkennung ist das Eiserkennungssystem Vestas Ice Detection (VID; BLADEcontrol) geplant /5/, /7/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht beim geplanten VID (BLADEcontrol) auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /7/, /10/. Gemäß /10/ 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 /10/.

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 /10/, /11/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /11/.

BLADEcontrol wurde nach DNV-SE-0439 „Zertifizierung der Zustandsüberwachung“ /8/ zertifiziert /9/. Mit /10/ wurde für die Eiserkennung mittels BLADEcontrol bestätigt, dass das System dem aktuellen Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /11/ 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 /11/. Gemäß /10/ 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 /10/ und /11/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

Ein Wegschleudern des Eises von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) ist aufgrund des geplanten Systems zur Eiserkennung für die neun von der Windpark Vellahn GmbH & Co. KG geplanten WEA am Standort Vellahn nicht anzunehmen. Im Folgenden wird die darüber hinaus bestehende Gefährdung durch Eisabfall betrachtet.

### 3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

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

- WEA-Typ: Vestas V172 mit 175,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,7 U/min /12/) und als Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Lageparameter des Rotorblattes: Das Rotorblatt steht senkrecht über dem Turm, sodass die Blattspitze ihre maximale Höhe erreicht.
- 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 den gesamten Fallweg 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).

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /4/. Die Daten 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 /13/, /14/, /19/. Zudem hat sich in Feldstudien /19/ 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 /19/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Form	mittlere Fläche [m²]	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 3:** Idealisierte Eisobjekte.

### 3.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 261 m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 19,5 m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /4/) auf Basis der in Tabelle 3 angegebenen Eisobjekte die maximale Fallweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 4 und die entsprechenden Fallkurven in Abbildung 2 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
19,5	150,1	165,8	188,1	230,9	277,0

Tabelle 4: Ermittelte maximale Fallweiten.

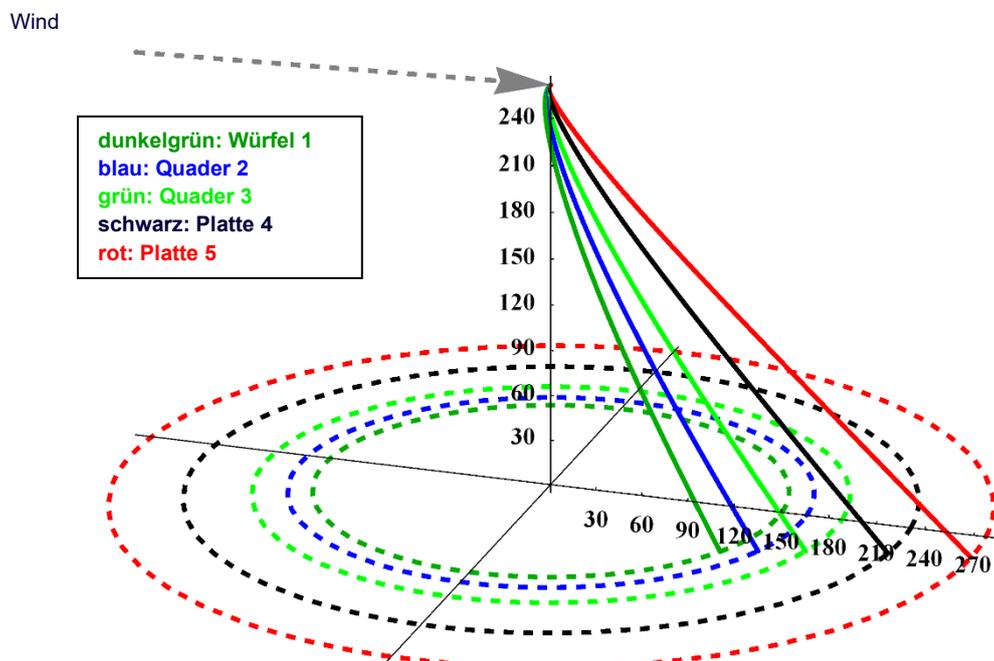
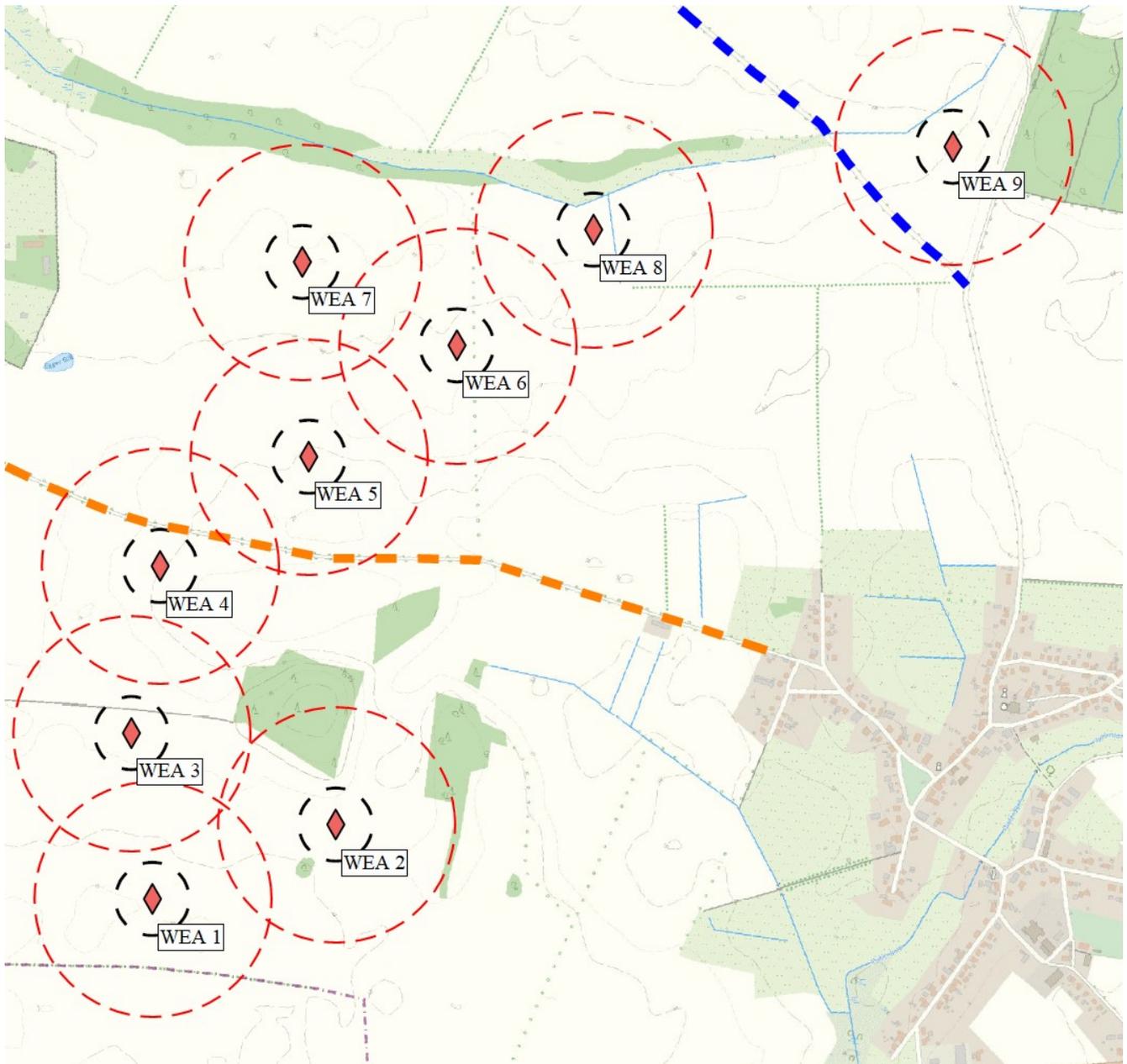


Abbildung 2: Fallweiten bei 19,5 m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Tabelle 4 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Fallweite ist in der nachfolgenden Abbildung 3 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Teile der Gefährdungsradien der geplanten WEA Abschnitte der Wirtschaftswege überdecken. Des Weiteren überdecken Teile des Gefährdungsradius der WEA 9 Abschnitte des Vellahner Wegs und Teile der Gefährdungsradien der WEA 4 und WEA 5 Abschnitte des Verbindungswegs.

Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg und dem Verbindungsweg durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse auf Basis einer Simulation des Eisabfalls für die WEA 4, WEA 5 und WEA 9 durchgeführt (siehe Kapitel 3.2).

Für die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /6/, für die im Winter außerhalb der Bewirtschaftungsperiode von einer unregelmäßigen Nutzung ausgegangen werden kann, wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des ermittelten Gefährdungsradius qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).



**Abbildung 3:** Gefährdungsradius – rot gestrichelt ( $v = 19,5 \text{ m/s}$ ).

## 3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg und dem Verbindungsweg durch Eisabfall

### 3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

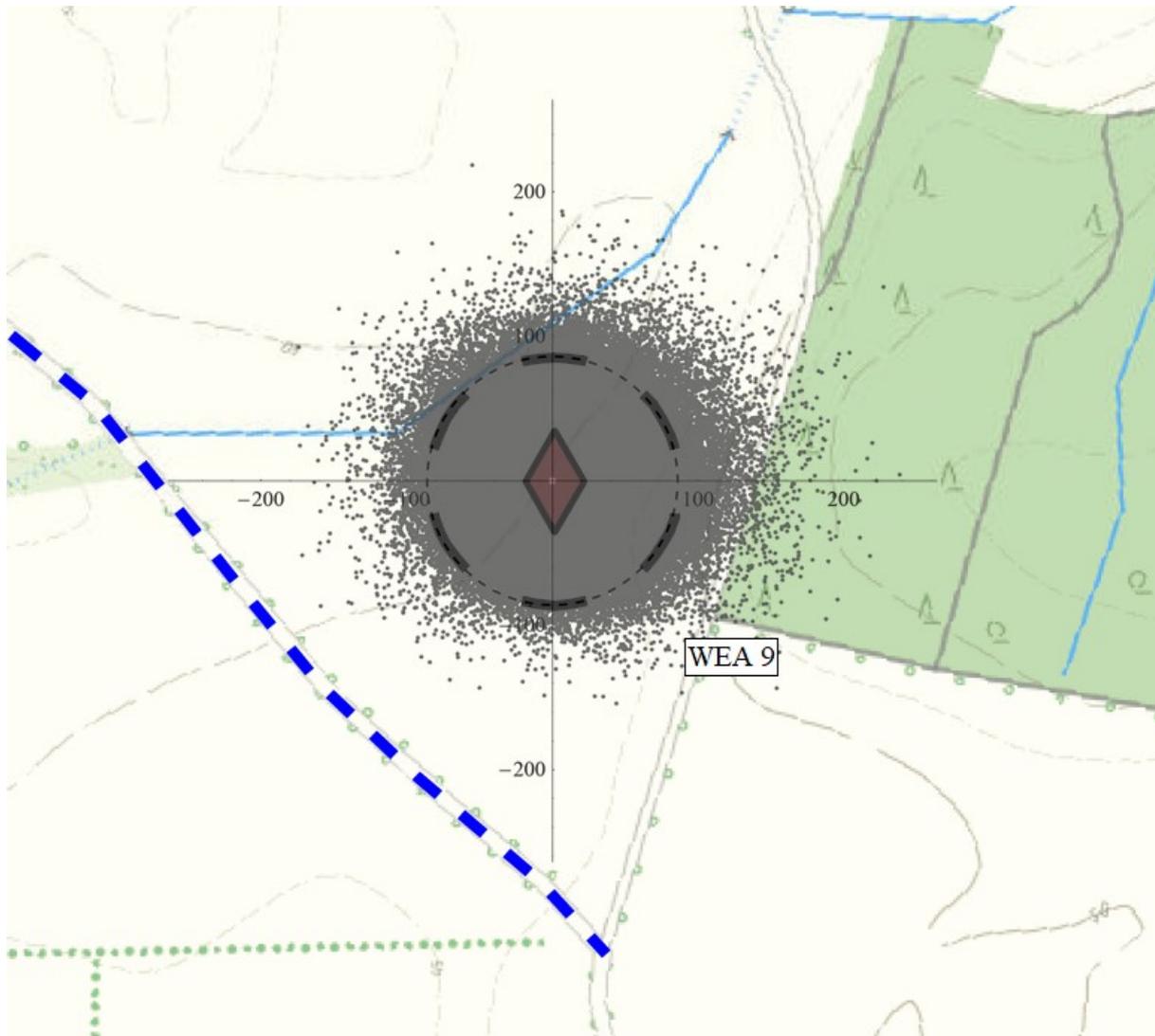
Die Berechnung der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgt ausschließlich für die abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /30/, /31/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

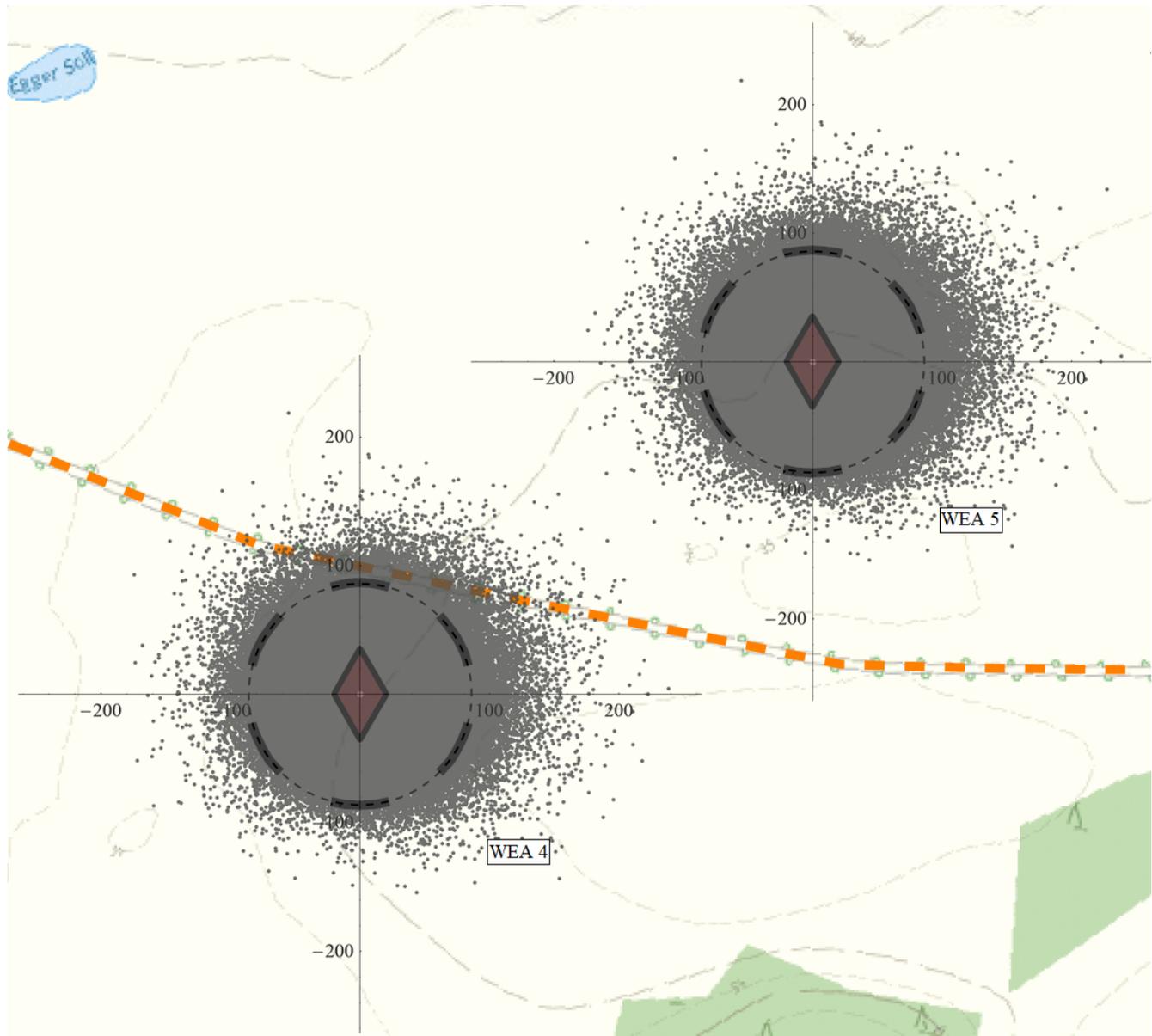
- WEA-Typ: Vestas V172 mit 175,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,7 U/min /12/) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- 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 /18/ 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.

### 3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.935 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (neun Vereisungstage pro Jahr mit je 215 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen von den betrachteten WEA dargestellt.



**Abbildung 4:** Auftreffpunkte bei Eisabfall (WEA 9). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.



**Abbildung 5:** Auftreffpunkte bei Eisabfall (WEA 4 und WEA 5). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Zur Bewertung des Schadensausmaßes (Personenschaden) werden im Folgenden Probit-Beziehungen herangezogen (siehe z.B. /32/, /36/). Auf Basis einer Probit-Beziehung lässt sich das Schadensausmaß anhand einer Schadenswahrscheinlichkeit ausdrücken. In /36/ sind konkrete Probit-Beziehungen zur Bewertung einer Schädelbasisfraktur angegeben, es lässt sich eine Aussage dahingehend treffen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Kopftreffer einen tödlichen Unfall zur Folge hat. In Abhängigkeit der Masse  $m$  [kg] und der Aufprallgeschwindigkeit  $v$  [m/s] (z. B. eines Eisobjekts) werden die folgenden Probit-Beziehungen verwendet:

$y(m, v) = -29,15 + 2,10 \cdot \ln(m \cdot v^{5,115})$	für $m < 0,1$ kg.
$y(m, v) = -17,56 + 5,30 \cdot \ln(0,5 \cdot m \cdot v^2)$	für $0,1 \text{ kg} < m < 4,5$ kg.
$y(m, v) = -13,19 + 10,54 \cdot \ln(v)$	für $m > 4,5$ kg.

Auf Basis des Probits  $y(m, v)$  ergibt sich die Schadenswahrscheinlichkeit  $PS$  unter Verwendung der Standardnormalverteilung  $\phi$  zu

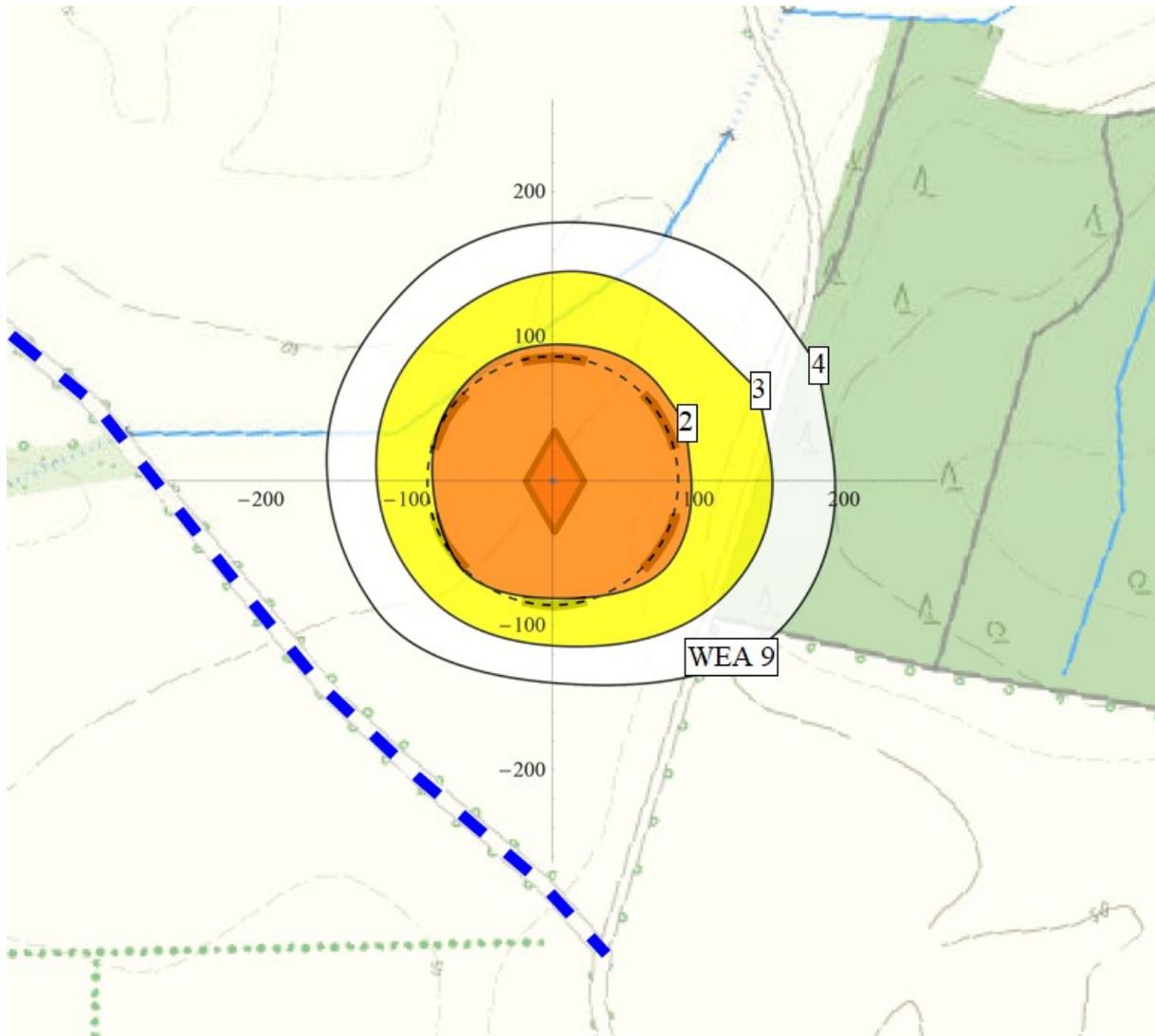
$$P_S = \phi(y(m, v) - 5) \quad (\text{siehe /32/, /36/}).$$

Die Verteilung der Eisgewichte orientiert sich an den Erkenntnissen aus dem Schweizer Forschungsprojekt „Alpine Test Site Güttsch“ /19/, /20/, /21/. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2 kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen.

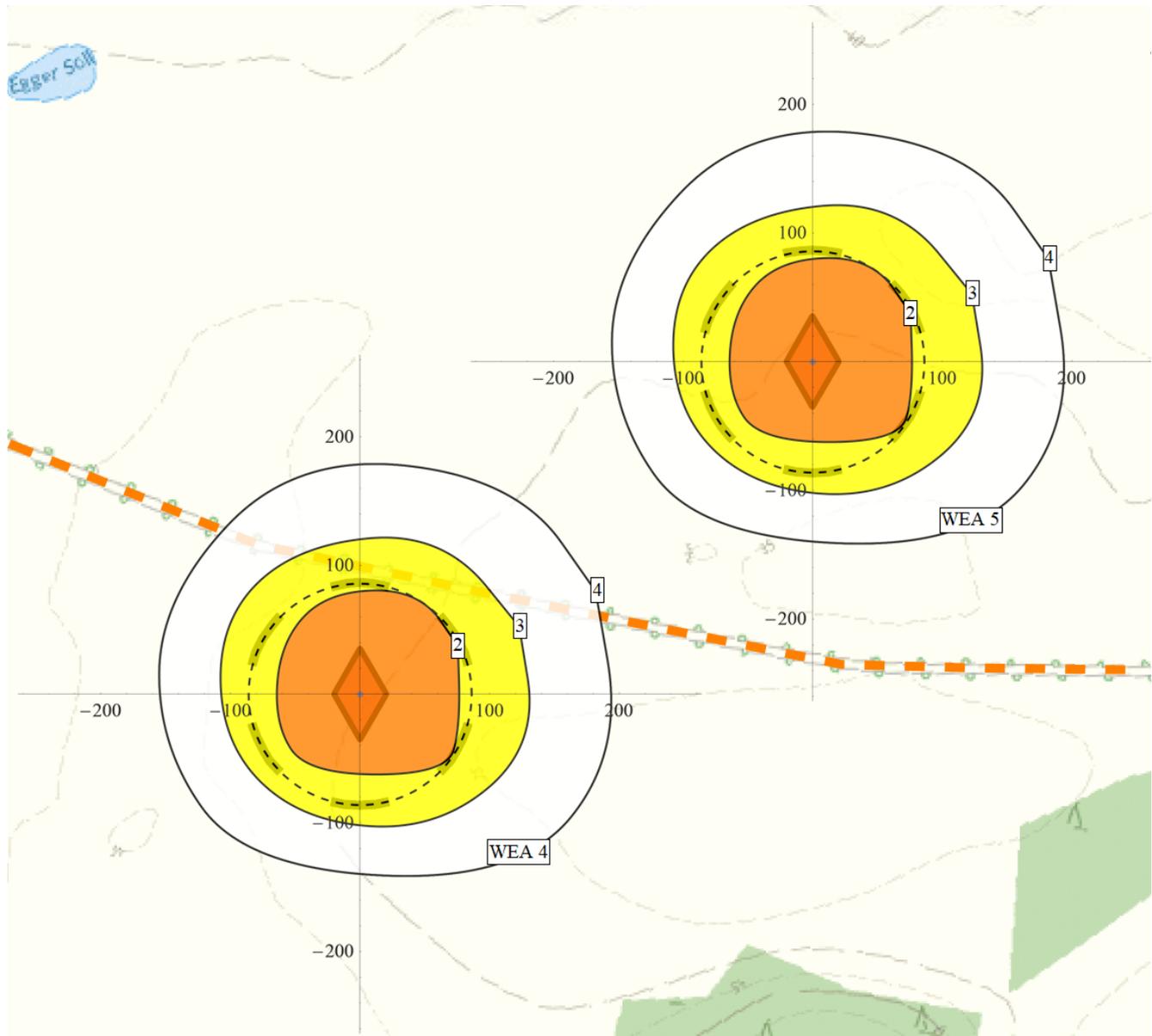
Im Folgenden werden auf Basis dieser Schadensbeurteilung die möglichen Treffer durch Eisobjekte dahingehend bewertet, inwieweit diese in Abhängigkeit ihrer kinetischen Energie einem lebensbedrohlichen Treffer entsprechen. In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind hierfür die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro m<sup>2</sup> und Eisabfall-Ereignis durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche ist in Tabelle 5 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m <sup>2</sup> )] – Vestas V172
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 5:** Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall),  
\*alles außerhalb der Zone 4.



**Abbildung 6:** Wahrscheinlichkeitszonen [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (WEA 9). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.



**Abbildung 7:** Gefährdungszonen - Schadensbeurteilung: Wahrscheinlichkeitszonen [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (WEA 4 und WEA 5). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls zeigen, dass der Vellahner Weg außerhalb des durch Eisabfall direkt gefährdeten Bereichs liegt. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass Abschnitte des Verbindungswegs zwischen den Ortschaften Vellahn und Banzin durch Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA 4 überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.2.3).

### 3.2.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 6 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko aufgrund Eisabfalls zu verunfallen, für Personen auf dem Verbindungsweg zwischen Vellahn und Banzin ermittelt.

Ein Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Eisobjektes mit der Zeit und dem Ort der zu betrachtenden Person 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 eines Eisabfalls pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).
- $h_{TEj}$ : Häufigkeit der Treffer pro m<sup>2</sup> im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).
- $A_T$ : Für die zu berücksichtigende Trefferfläche von Personen auf den Wegen wird auf Basis der Schadensbeurteilung (siehe Kapitel 3.2.2) konservativ 0,1 m<sup>2</sup> für einen potenziell lebensbedrohlichen Treffer einer exponierten Person angesetzt.
- $P_{VA}$ : Wahrscheinlichkeit, an einem Vereisungstag anwesend zu sein,  $P_{VA} = 104/365$  (Annahme: Nutzung zweimal pro Woche /6/).
- $n_D$ : Anzahl der täglichen Durchquerungen des Bereichs j,  $n_D = 2$  (Annahme: Hin- und Rückweg).
- $P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der verkehrsteilnehmenden Person  $v_F$ , Länge des Straßenabschnitts  $l_j$  aus Abbildung 7),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .
  - Geschwindigkeit Fußgänger:in 5 km/h

Für die Nutzung der Wege wird abdeckend für weitere mögliche Nutzer eine zu Fuß gehende Person betrachtet, da diese z. B. gegenüber einer joggenden oder Rad fahrenden Person eine geringere Geschwindigkeit hat und sich daraus eine längere Aufenthaltszeit im gefährdeten Bereich ergibt.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich die in Tabelle 6 aufgeführte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Individualrisiko).

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
04	Verbindungsweg	6,1E-07

**Tabelle 6:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.

Bei einem Individualrisiko von 6,1E-07 Treffer/a erfolgt im Mittel ca. alle 1,6 Mio. Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabfall. 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) /32/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /33/.
- Risk Criteria in EU /34/.
- Auswertung des VdTÜV /32/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /37/.

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) /32/).

Für die Beurteilung von Personengefährdungen wird im Folgenden ein Bewertungsmaßstab für das Individualrisiko hergeleitet (siehe Kapitel 4.1). Eine Betrachtung des Gruppenrisikos (Kollektivrisikos) ist aufgrund der geringen anzunehmenden Nutzungshäufigkeit nicht erforderlich /37/.

### 4.1 Individualrisiko

#### MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /32/ 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 /32/. Die in /32/ getätigten Angaben decken sich mit Erhebungen der GBE /33/. 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 /33/ 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 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 zwischen  $1,0E-06$  pro Jahr und  $1,0E-05$  pro Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip (As Low As Reasonably Practicable) /34/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko oberhalb von  $1,0E-05$  pro Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Zur Ermittlung des gesamten Individualrisikos auf der Kreisstraße K219 am Standort Vellahn sind die einzelnen Individualrisiken aller WEA zu addieren.

## 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

Am Standort Vellahn in Mecklenburg-Vorpommern plant die Windpark Vellahn GmbH & Co. KG die Errichtung von neun WEA des Typs Vestas V172 mit 175,0 m NH und 172,0 m D. In der Nähe der geplanten WEA verläuft der Vellahner Weg.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg und den umliegenden Wirtschaftswegen inklusive des Verbindungswegs zwischen Vellahn und Banzin durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

### 6.1 Eisabwurf

Auf Basis der TÜV NORD zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 3.1.2) von drehenden Rotoren kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachteten WEA nicht anzunehmen ist. Mit der Prüfung in /10/ und /11/ wurde für die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Eiserkennung wie in /10/ und /11/ beschrieben in den geplanten WEA-Typ Vestas V172 integriert wird.

## 6.2 Eisabfall Straße und Wirtschaftswege

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass die landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA inklusive des Verbindungswegs durch Eisabfall betroffen sind. Des Weiteren ist zu erkennen, dass der Vellahner Weg außerhalb des Gefährdungsbereichs durch Eisabfall der geplanten WEA liegt. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg durch Eisabfall der von der Windpark Vellahn GmbH & Co. KG geplanten WEA ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.2.2. nicht anzunehmen.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege ist eine Gefährdung durch 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 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.

Für die Bewertung der Gefährdung von ungeschützten Personen auf dem Verbindungsweg zwischen Vellahn und Banzin wurde das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) im Rahmen einer Freizeitnutzung bestimmt (siehe Kapitel 3.2.3). Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Personen auf dem Verbindungsweg mit den in Kapitel 4.1 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass das ermittelte Individualrisiko unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs liegt.

## 6.3 Empfohlene risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 3.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 3 empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /25/, /27/ durch eine unabhängige fachkundige Person im Sinne des Vier-Augen-Prinzips geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /25/, /27/ durch eine unabhängige fachkundige Person im Sinne des Vier-Augen-Prinzips 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 1,1-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftswegen auf die Gefährdung durch 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 /37/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.

## 6.4 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 sich die abgeschalteten, vereisten WEA prinzipiell nicht von anderen Bauwerken mit Eisansatz unterscheiden,
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA inklusive des Verbindungswegs gemäß /6/ hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher 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 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 dem Vellahner Weg und den umliegenden Wirtschaftswegen inklusive des Verbindungswegs als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern /26/ 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) /28/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine konkrete Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf dem Vellahner Weg und den umliegenden Wirtschaftswegen inklusive des Verbindungswegs durch Eisabwurf/Eisabfall der neun geplanten WEA am Standort Vellahn 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 Windpark Vellahn GmbH & Co. KG 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 Windpark Vellahn 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 Windpark Vellahn GmbH & Co. KG die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

## 8 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	
min	Minute	
NH	Nabenhöhe	[m]
$P_{\text{Nenn}}$	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	
WEA	Windenergieanlage(n)	

## 9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ Windpark Vellahn GmbH & Co. KG. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.05.2023.
- /2/ Windpark Vellahn GmbH & Co. KG. Angaben zu den WEA-Koordinaten. Übermittelt durch Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.05.2023.
- /3/ Windpark Vellahn GmbH & Co. KG. Lageplan: Vellahn, Stand: 19.05.2023. Übermittelt durch Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.05.2023.
- /4/ Windpark Vellahn GmbH & Co. KG. Angaben zu den meteorologischen Daten: PARK – Analyse der Windverhältnisse, Stand: 15.02.2023. Übermittelt durch Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.05.2023.
- /5/ Windpark Vellahn GmbH & Co. KG. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 22.05.2023.
- /6/ Windpark Vellahn GmbH & Co. KG. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch Windpark Vellahn GmbH & Co. KG mit E-Mails vom 12.06.2023, 05.12.2023 und 15.12.2023.
- /7/ 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 / V162 – 5.6 / 6.0 / 6.2 MW 50 / 60Hz V162 / V172 – 7.2 MW 50 / 60 Hz, Dokumentenr.: 0049-7921 V15, Stand: 13.10.2022.
- /8/ DNV GL AS. Service Specification DNV-SE-0439: Certification of condition monitoring. Oktober 2021.
- /9/ 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.
- /10/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 8, Stand 24.11.2022.
- /11/ 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.
- /12/ Vestas Wind Systems A/S. RPM Curves EnVentus™ V172-7.2 MW 50/60 Hz, Dokument Nr. 0124-6634 V04, Stand: 08.07.2022.
- /13/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /14/ 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.
- /15/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /16/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /17/ Wichura, B. (DWD). The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icings, IW AIS 2013.
- /18/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /19/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /20/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.

- /21/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAIIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
- /22/ 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.
- /23/ 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.
- /24/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /25/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /26/ Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern. Verwaltungsvorschrift Technischen Baubestimmungen M-V (VV TB M-V). Fassung Januar 2023.
- /27/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /28/ BImSchG 2022. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 19.10.2022.
- /29/ Jarass, H. D. 2012. Bundes-Immissionsschutzgesetz: BImSchG, Kommentarunter Berücksichtigung der Bundes-Immissionsschutzverordnungen, der TA Luft sowie der TA Lärm. Verlag C.H. Beck, München, 2012.
- /30/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /31/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /32/ DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Oktober 2018.
- /33/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /34/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /35/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /36/ Green Book. Methods for the determination of possible damage – first edition. Voorburg 1989.
- /37/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.