

# **Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Etteln A33 Erweiterung**

Erstellt im Auftrag für

WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG  
Paderborn

Revision 0

Hamburg, 14.08.2023

<b>Revision</b>	<b>Datum</b>	<b>Änderung</b>
0	14.08.2023	Erste Ausgabe

**Gegenstand:** Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung  
Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort  
Etteln A33 Erweiterung

**Referenz-Nr.:** 2023-WND-RB-438-R0

**Auftraggeberin:** WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co. KG  
Vattmannstraße 6  
33100 Paderborn

**Anlagenherstellerin:** VENSYS Energy AG  
Im Langental  
66539 Neunkirchen

<b>WEA-Typ:</b>	<b>P<sub>Nenn</sub> [MW]</b>	<b>D [m]</b>	<b>NH [m]</b>
VENSYS V126	3,8	126,2	136,9

**Eingereichte Unterlagen:**

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

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

Verfasser	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 14.08.2023
Geprüft durch	Dr. J. Hauschild Sachverständiger	Hamburg, 14.08.2023

**Für weitere Auskünfte:**

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
M.Sc. N. Cromm  
Große Bahnstraße 31  
22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 1754

Fax: +49 40 8557 2552

E-Mail: [ncromm@tuev-nord.de](mailto:ncromm@tuev-nord.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Angaben zum Windenergieanlagen-Standort</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Risikoanalyse</b> .....	<b>9</b>
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i> .....	9
3.1.1	Vereisungspotential.....	9
3.1.2	Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf).....	11
3.1.3	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls .....	11
3.1.4	Gefährdungsradius.....	13
3.2	<i>Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K22 durch Eisabfall</i> .....	16
3.2.1	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls .....	16
3.2.2	Trefferhäufigkeiten .....	17
3.2.3	Individualrisiko.....	20
3.2.4	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko).....	21
<b>4</b>	<b>Bewertungsmaßstab</b> .....	<b>22</b>
4.1	<i>Individualrisiko</i> .....	23
4.2	<i>Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)</i> .....	24
<b>5</b>	<b>Modell- und Datenunsicherheiten</b> .....	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Risikobewertung</b> .....	<b>25</b>
6.1	<i>Eisabwurf</i> .....	26
6.2	<i>Eisabfall</i> .....	26
6.3	<i>Empfohlene Maßnahmen zur Risikominderung</i> .....	27
6.4	<i>Risikobewertung</i> .....	27
<b>7</b>	<b>Rechtsbelehrung</b> .....	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>Literatur- und Quellenangaben</b> .....	<b>31</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan /2/.....	8
Abbildung 2: Fallweiten bei 15,9 m/s Windgeschwindigkeit. ....	13
Abbildung 3: Gefährdungsradius – schwarz gestrichelt ( $v = 15,9$ m/s).....	15
Abbildung 4: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	17
Abbildung 5: Wahrscheinlichkeitszonen [ $1/m^2$ ] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung. ....	10
Tabelle 2: Idealisierte Eisobjekte.....	12
Tabelle 3: Ermittelte maximale Fallweite. ....	13
Tabelle 4: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.....	18
Tabelle 5: Trefferhäufigkeit pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.....	21
Tabelle 6: Trefferhäufigkeit pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall. ....	22

## 1 Aufgabenstellung

Im Projekt Etteln A33 Erweiterung in Nordrhein-Westfalen plant die WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG die Errichtung von drei Windenergieanlagen (WEA) des Typs VENSYS V126 mit 136,9 m Nabenhöhe (NH) und 126,2 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Landesstraße L818 sowie die Kreisstraße K22.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /25/ §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 /22/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /22/ gelten Abstände größer als  $1,5 \times (D + NH)$  im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme einer Sachverständigen oder eines Sachverständigen erforderlich.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG mit Schreiben vom 21.07.2023 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 Landesstraße L818, der Kreisstraße K22 sowie den umliegenden, landwirtschaftlich genutzten 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 VENSYS V126.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte bei den WEA des Typs VENSYS V126 am WEA-Standort Etteln A33 Erweiterung 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 Landesstraße L818 sowie der Kreisstraße K22 durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt. Zusätzlich wird die landwirtschaftliche 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 zum Eisabwurf und Eisabfall basieren auf den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen von Eisabwurf und Eisabfall von WEA /34/.

## **2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort**

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs VENSYS V126 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

Das umliegende Gelände der neu geplanten WEA am Standort Etteln A33 Erweiterung ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Landesstraße L818 (siehe Abbildung 1, grün gestrichelte Linie) sowie die Kreisstraße K22 (siehe Abbildung 1, orange gestrichelte Linie). Der kürzeste Abstand der WEA 06 (WEA-Mittelpunkt) zur Kreisstraße K22 beträgt ca. 100 m.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /2/ und der Standortbeschreibung /4/ entnommen.

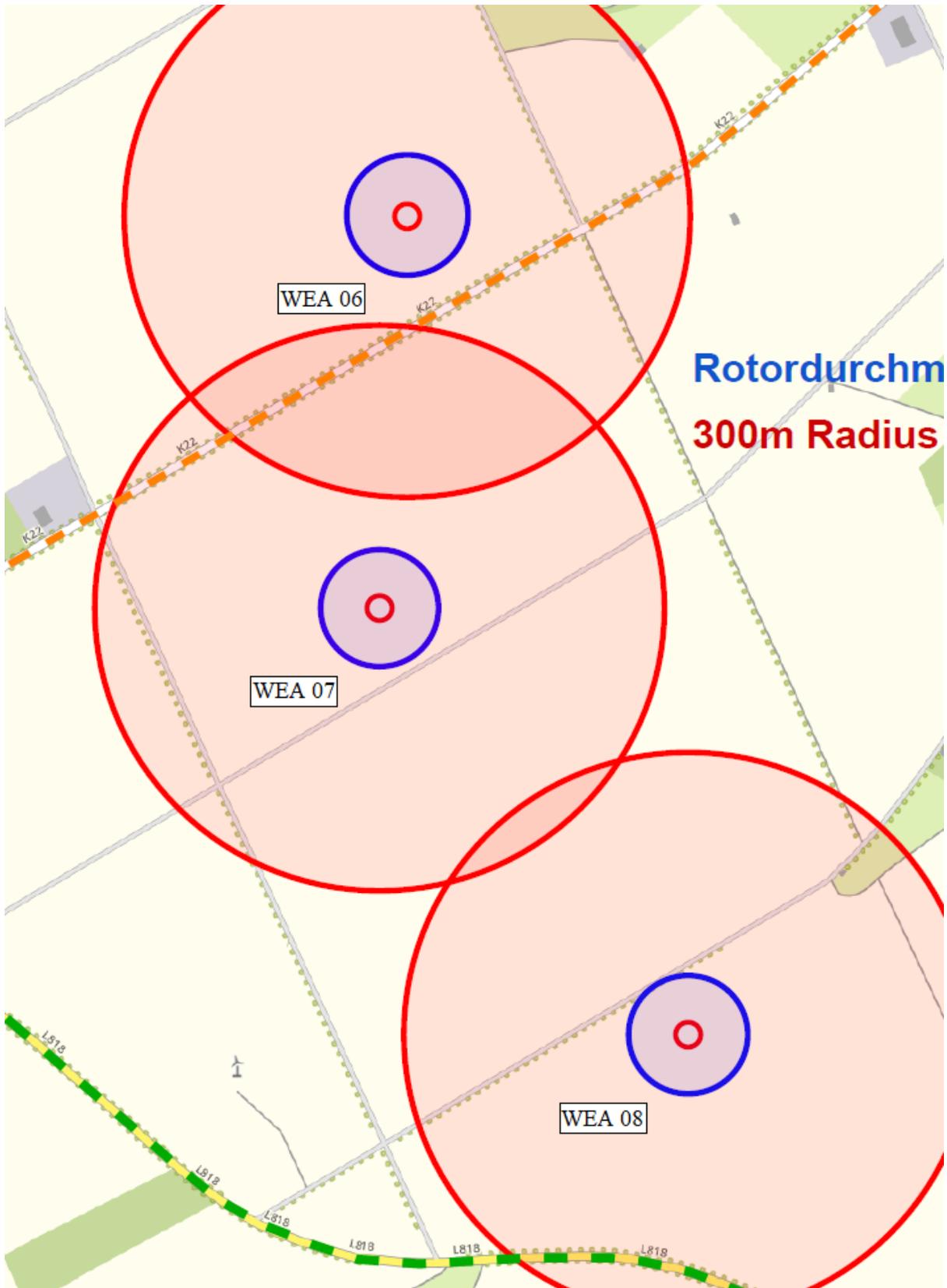


Abbildung 1: Lageplan /2/.

## 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. Darauffolgend 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 /19/, /20/, /21/.

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 Etteln A33 Erweiterung ist gemäß den Eiskarten Europas /11/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /13/, /14/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /12/ im Mittel mit ca. 11 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“ /16/, /17/, /18/ 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 /18/. Unter Berücksichtigung der in /17/ 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 44,0 m D durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen, wobei eine Zunahme der Anzahl an Eisobjekten je Vereisung relativ zu D<sup>2</sup> angenommen wird /34/. In Tabelle 1 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
VENSYS V126	126,2	15.926	8,2	ca. 115

**Tabelle 1:** 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 stehenden 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.

Für die Eiserkennung ist das Eiserkennungssystem BLADEcontrol der Firma Weidmüller Monitoring Systems GmbH geplant /5/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht bei BLADEcontrol auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /7/. Gemäß /7/ 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 /7/.

Dadurch, dass 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 /7/, /8/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /8/.

Das System wurde nach GL IV-4 „Guideline for the Certification of Condition Monitoring Systems for Wind Turbines“ zertifiziert /9/. Mit /7/ wurde für die Eiserkennung mittels BLADEcontrol bestätigt, dass das System dem Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /8/ wurde die Integration der Eiserkennung mittels BLADEcontrol in die Steuerung von VENSYS-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 Stand der Technik entspricht /8/. Gemäß /8/ werden die behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb als „sonstige Gefahr“ im Sinne des § 5 BImSchG erfüllt. Das vorgesehene System ist gemäß /7/ und /8/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

### 3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

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

- WEA-Typ: VENSYS V126 mit 136,9 m NH und 126,2 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,9 U/min /6/) 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).

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 /10/, /11/, /16/. Zudem hat sich in Feldstudien /16/ 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 /16/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 2 dargestellt.

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

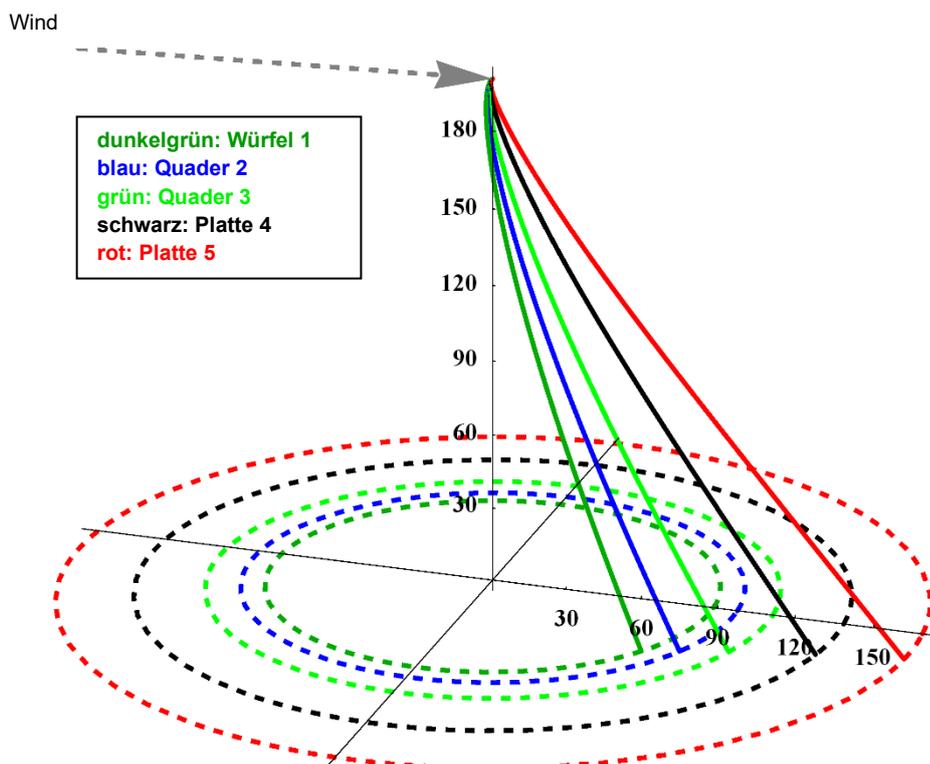
**Tabelle 2:** Idealisierte Eisobjekte.

### 3.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 200 m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 15,9 m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /3/) auf Basis der in Tabelle 2 angegebenen Eisobjekte die maximale Fallweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 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]
15,9	88,2	97,5	111,2	138,4	168,2

**Tabelle 3:** Ermittelte maximale Fallweite.



**Abbildung 2:** Fallweiten bei 15,9 m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Fallweite ist in der nachfolgenden Abbildung 3 als Gefährdungsradius (schwarz gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Teile der Gefährdungsradien Abschnitte der landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege überdecken. Des Weiteren werden Abschnitte der Kreisstraße K22 durch den Gefährdungsradius der geplanten WEA 06 überdeckt. Die Landesstraße L818 hingegen liegt

außerhalb der Gefährdungsbereiche der geplanten WEA 06 bis WEA 08 und ist somit nicht durch Eisabfall von den WEA betroffen. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K22 durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse auf Basis einer Simulation des Eisabfalls für die WEA 06 durchgeführt (siehe Kapitel 3.2). Für die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /4/ wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

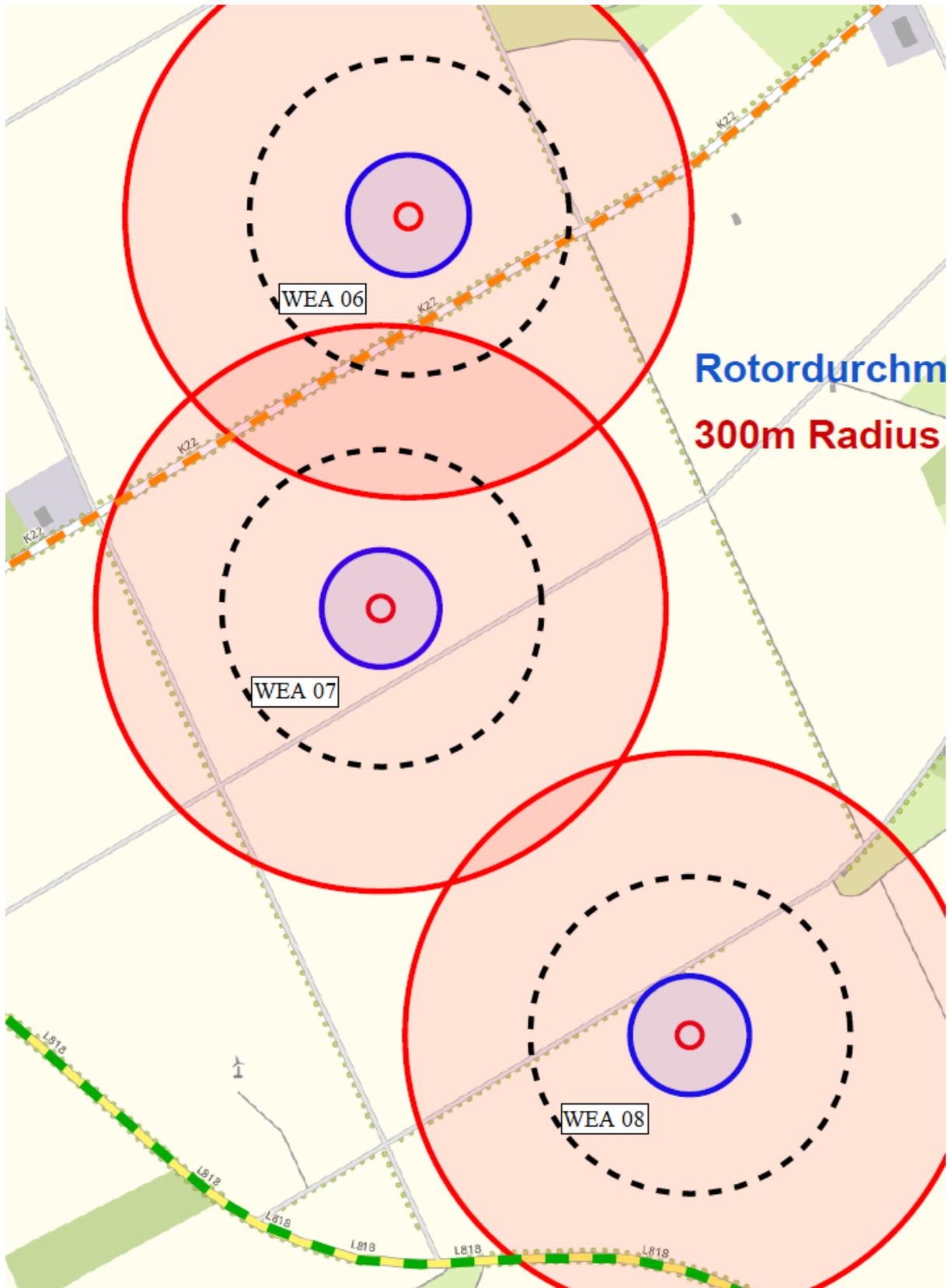


Abbildung 3: Gefährdungsradius – schwarz gestrichelt ( $v = 15,9$  m/s).

## **3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K22 durch Eisabfall**

### **3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls**

Die Berechnung der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgt ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /32/, /33/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

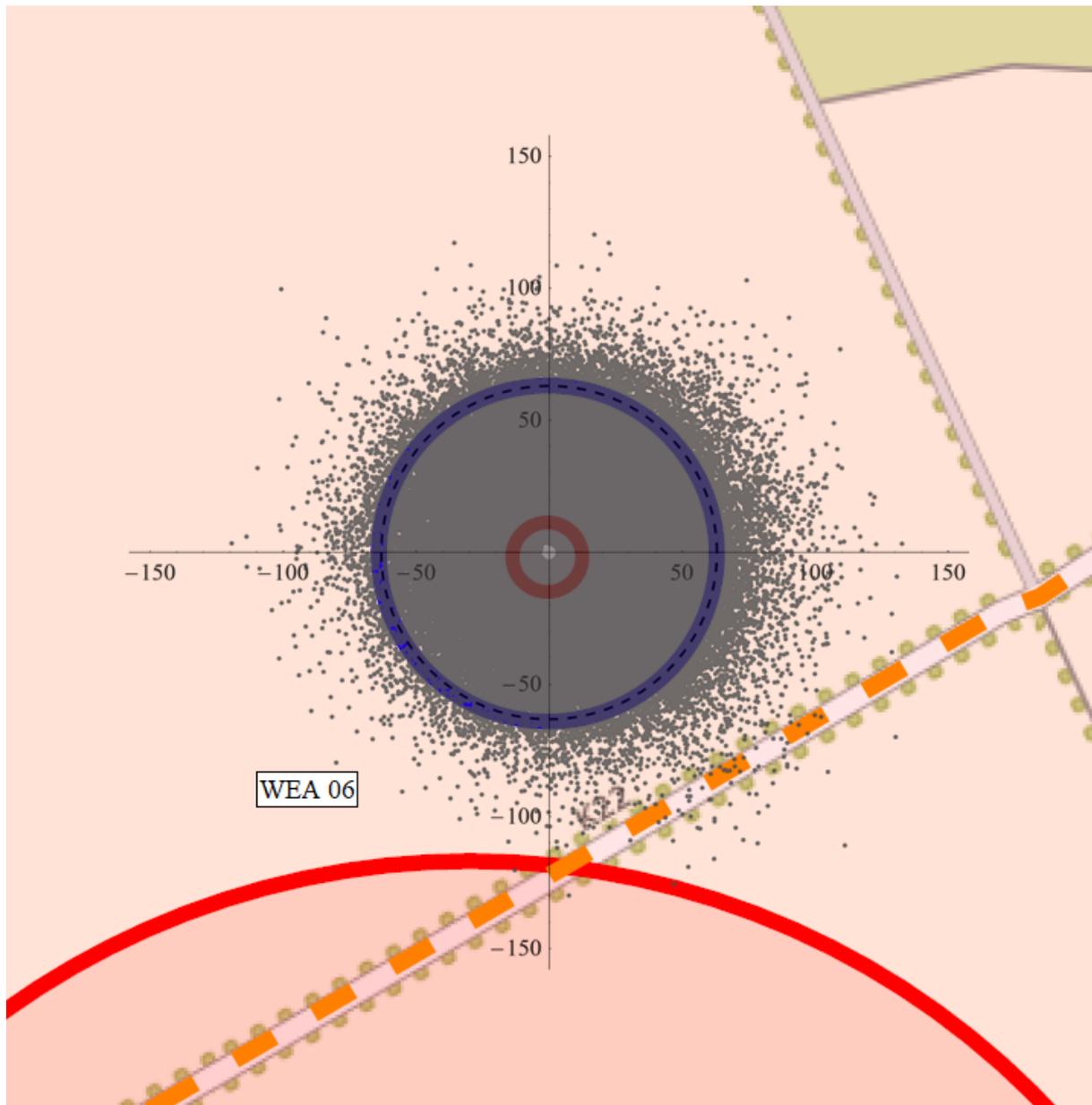
Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: VENSYS V126 mit 136,9 m NH und 126,2 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,9 U/min /6/) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ 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  $0^\circ\text{C}$  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 /15/ 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 Rotationssebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall  $(0^\circ, 360^\circ)$  gleichverteilt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

### 3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.265 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (11 Vereisungstage pro Jahr mit je 115 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen von der WEA 06 dargestellt.

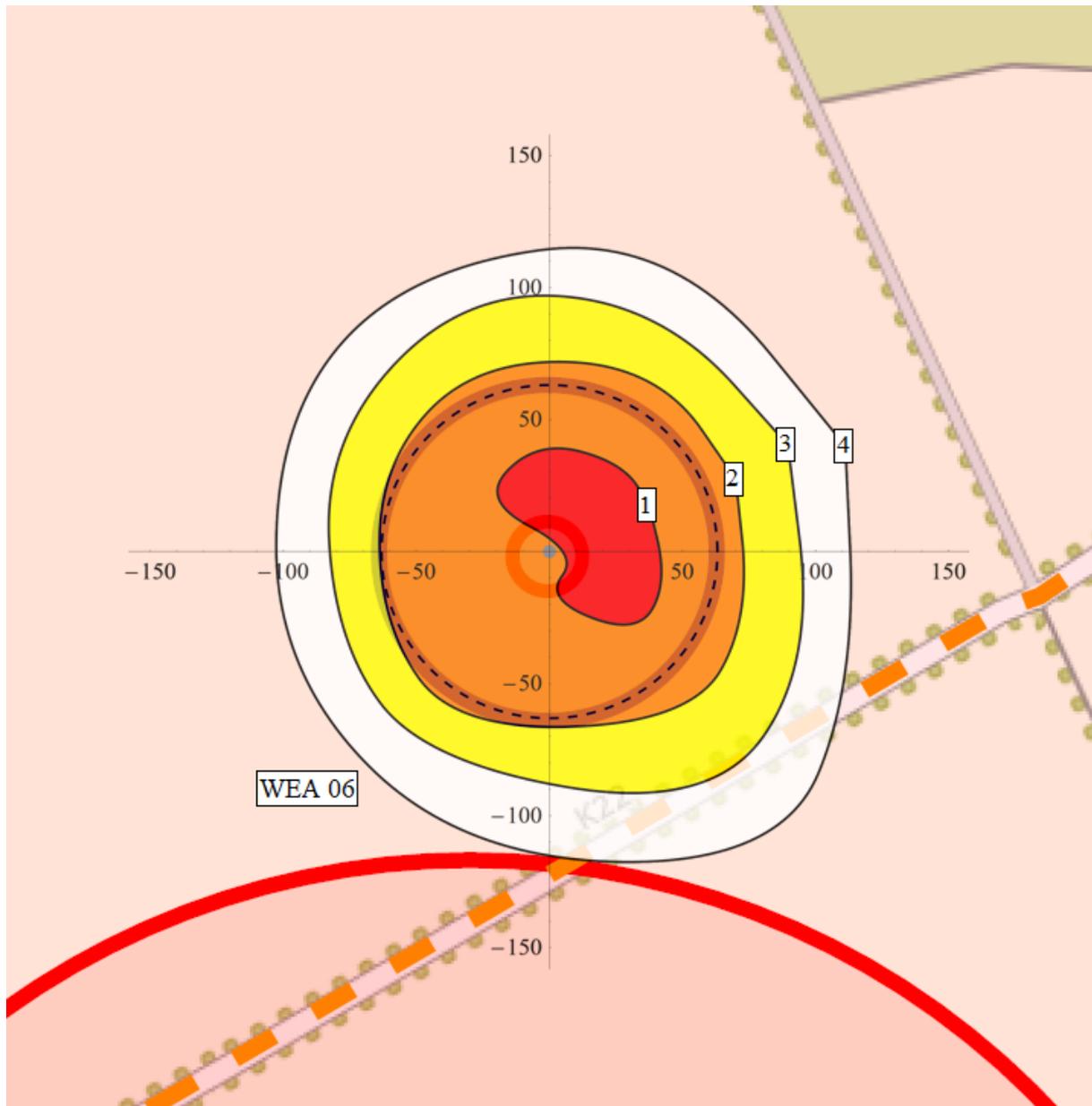


**Abbildung 4:** Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 5 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro Quadratmeter und Eisabfall-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche sowie der möglichen Treffer durch Eisabfall pro Jahr und Quadratmeter sind in der Tabelle 4 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 1,3E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,3E-02 bis 1,3E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,3E-03 bis 1,3E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,3E -04 bis 1,3E -03
5*	Farblos	1,0E-08 bis 1,0E-07	kleiner 1,3E -04

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



**Abbildung 5:** Wahrscheinlichkeitszonen [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 5 zeigen, dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA 06 Abschnitte der Kreisstraße K22 überdecken (siehe weitere Risikoanalyse Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.2.4).

### 3.2.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 5 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund Eisabfalls von der geplanten WEA 06 zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K22 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Kreisstraße K22 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 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 Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).
- $h_{TEj}$ : Häufigkeit der Treffer pro m<sup>2</sup> im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).
- $A_T$ : 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, welcher 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 ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der verkehrsteilnehmenden Person  $v_F$ , Länge des Straßenabschnitts  $l_j$  aus Abbildung 5),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich die in Tabelle 5 aufgeführte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Individualrisiko).

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
06	Kreisstraße K22	1,3E-07

**Tabelle 5:** Trefferhäufigkeit pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.

Bei einem Individualrisiko von 1,3E-07 Treffer/a erfolgt im Mittel ca. alle 7,7 Mio. Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.2.4 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.2.3), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K22 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 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).
- $H_{aVT}$ : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K22 werden auf Basis der Angaben aus /4/ 925 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 ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der Fahrzeuge  $v_F$ , Länge des Straßenabschnitts  $l_j$  aus Abbildung 5),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich für die Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K22 die in Tabelle 6 aufgeführte Trefferhäufigkeit 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 des Straßenverkehrs [Treffer/(m*a)]
06	Kreisstraße K22	6,0E-07

**Tabelle 6:** Trefferhäufigkeit pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall.

Bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von 6,0E-07 Treffer/(m\*a) erfolgt im Mittel ca. alle 1,7 Mio. Jahre pro Meter Streckenabschnitt ein schwerer Unfall 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) /26/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /27/.
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes /28/.
- Risk Criteria in EU /30/.
- Auswertung des VdTÜV /31/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /34/.

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) /26/).

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 betroffenen Verkehrsabschnitte 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 in Deutschland /28/ beurteilt (siehe Kapitel 4.2).

## 4.1 Individualrisiko

### MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /26/ 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 /26/. Die in /26/ getätigten Angaben decken sich mit Erhebungen der GBE /27/. 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 /27/ 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 /31/ 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) /30/ 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.

## 4.2 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch die geplanten WEA wird das allgemein vorliegende Risiko im Straßenverkehr betrachtet. Diesbezüglich ist in Anlehnung an die Straßenverkehrsordnung (StVO) der Bundesrepublik Deutschland die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten /29/ 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 /28/. 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 /26/). In Anlehnung an die Vorgaben der StVO /29/ 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 /28/. Zwischen 2012 und 2021 gab es in Deutschland je 1.000 km Straßenlänge jährlich durchschnittlich

- innerorts 4.003,
- außerorts ohne Autobahnen 436 und
- auf Autobahnen 1.459

Unfälle mit Personenschaden.

Zusätzlich sind in /28/ die gesamte Anzahl der Unfälle mit Personenschäden, die Anzahl der Personenschäden und die Anzahl der getöteten, schwer- und leichtverletzten Verkehrsteilnehmer:innen angegeben. Hieraus lässt sich für die jeweilige Verkehrssituation die Gefährdung im Straßenverkehr ableiten. Auf Basis der Unfallstatistiken der letzten zehn Jahre ergibt sich die Unfallohäufigkeit von schweren Verkehrsunfällen mit Personenschäden außerorts (ohne Autobahnen) zu  $1,0E-01$  pro km und Jahr. Dies entspricht etwa einem schweren Verkehrsunfall mit tödlichem Ausgang bzw. schwerverletzten Personen alle zehn Jahre pro Kilometer.

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 außerorts (ohne Autobahnen) zu  $1,0E-02$  schwere Verkehrsunfälle mit Personenschäden je Kilometer und Jahr bzw. zu  $1,0E-05$  pro Meter und Jahr.

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /30/ leitet sich daraus der folgende Risikogrenzwertbereich für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs auf Autobahnen:

- Untere Grenze: Der untere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von  $1,0E-06$  pro Meter und Jahr.
- Obere Grenze: Der obere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von  $1,0E-05$  pro Meter und Jahr.

Bezogen auf den am Standort Etteln A33 Erweiterung zu betrachtenden Straßenabschnitt bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb von  $1,0E-06$  pro Meter und Jahr als akzeptabel bewertet wird. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit in einem Bereich zwischen  $1,0E-06$  pro Meter und Jahr und  $1,0E-05$  pro Meter und Jahr ist das Risiko tolerabel, es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /30/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Eine Unfallhäufigkeit oberhalb von  $1,0E-05$  pro Meter und Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

## 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 Etteln A33 Erweiterung in Nordrhein-Westfalen plant die WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG die Errichtung von drei WEA des Typs VENSYS V126 mit 136,9 m NH und 126,2 m D. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Landesstraße L818 sowie die Kreisstraße K22.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Landesstraße L818 oder der Kreisstraße K22 durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

## **6.1 Eisabwurf**

Auf Basis der uns zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 3.1.2) von drehenden Rotorblättern kommt der TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachteten WEA nicht anzunehmen ist. Mit der Prüfung in /7/ und /8/ wurde für die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Eiserkennung wie in /7/ und /8/ beschrieben in den geplanten WEA-Typ Vensys V126 integriert wird. Dies soll im Rahmen der Genehmigung und der Inbetriebnahme der geplanten WEA geprüft und Nachweis hierzu erbracht werden.

## **6.2 Eisabfall**

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass die landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile der Kreisstraße K22 durch Eisabfall betroffen sind. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Landesstraße L818 durch Eisabfall ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.1.4 nicht anzunehmen.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege und landwirtschaftlich genutzten Schuppen 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 das Metaldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Für die Bewertung der Gefährdung im Straßenverkehr ist zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) und zum anderen das Gruppenrisiko (Gefährdung des Straßenverkehrs) zu betrachten. Für die Kreisstraße K22 wurden die Gefährdungen für Verkehrsteilnehmer:innen bestimmt (siehe Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.2.4). Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K22 mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass sowohl das ermittelte Individualrisiko als auch die ermittelte Gefährdung des Straßenverkehrs unterhalb der hergeleiteten Risikogrenzwertbereiche liegen und somit als akzeptabel einzustufen sind.

### **6.3 Empfohlene Maßnahmen zur Risikominderung**

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 sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /23/, /24/ durch eine unabhängige fachkundige Person im Sinne des Vier-Augen-Prinzips geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität der Rotorblatt-Eisdetektion im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /23/, /24/ 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 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 /34/ 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 in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /4/ überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden und im Winter bei entsprechenden Witterungsbedingungen die Anzahl der möglichen Freizeitnutzer (z.B. Wanderer) als gering einzustufen ist,
- dass davon auszugehen ist, dass der landwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen erfolgt,
- 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 der Landesstraße L818 und der Kreisstraße K22 sowie den umliegenden landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswegen als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

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

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /25/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine unzulässige Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Landesstraße L818 und der Kreisstraße K22 sowie der landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege durch die Errichtung der drei geplanten WEA am Standort Etteln A33 Erweiterung durch Eisabwurf/Eisabfall nicht zu unterstellen.

## 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 WestfalenWIND Etteln A33 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 WestfalenWIND Etteln A33 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 WestfalenWIND Etteln A33 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	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
D	Rotordurchmesser	[m]
GBE	Gesundheitsberichterstattung des Bundes	
h	Stunde	
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimale endogene Sterblichkeit	
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/ WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG mit E-Mail vom 18.07.2023.
- /2/ WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG. Lageplan, Stand: 16.08.2023. Übermittelt durch WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG mit E-Mail vom 16.08.2023.
- /3/ reko GmbH & Co. KG. Angaben zu den meteorologischen Daten: Etteln, Stand: 21.07.2020. Übermittelt durch WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG mit E-Mail vom 10.09.2020.
- /4/ WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG mit E-Mails vom 19.09.2016, vom 04.10.2016 und vom 24.07.2023.
- /5/ VENSYS Energy AG. Maßnahmen zur Eiserkennung an VENSYS Windenergieanlagen, Stand: 14.03.2018. Übermittelt durch WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG mit E-Mail vom 14.09.2020 und bestätigt mit E-Mail vom 24.07.2023.
- /6/ VENSYS Energy AG. Angabe der maximalen Trudeldrehzahl VENSYS 126 – 3,8 MW, Stand: 15.09.2020.
- /7/ DNV GL – Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 8, Stand 24.11.2022.
- /8/ DNV GL – Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System – Integration des Eiserkennungssystems „BLADEcontrol Ice Detector BID“ in die Steuerung von VENSYS Windenergieanlagen, Report Nr.: 75294, Rev. 1 Stand: 06.01.2016.
- /9/ DNV GL – Energy Renewables Certification. Typenzertifikat: Eisdetektorsystem BLADEcontrol Ice Detector (BID). TC-DNVGL-SE-0439-04314-0, Hamburg, Stand: 20.10.2020, gültig bis: 19.10.2024.
- /10/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /11/ 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.
- /12/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /13/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /14/ 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.

- /15/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /16/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /17/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /18/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
- /19/ 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.
- /20/ 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.
- /21/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /22/ Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Gleichstellung des Landes Nordrhein-Westfalen. Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen NRW (VV TB NRW). Ausgabe Juli 2022.
- /23/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /24/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /25/ BImSchG 2022. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 26.07.2023.
- /26/ DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Oktober 2018.
- /27/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /28/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2022.
- /29/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Fassung vom 12.07.2021.
- /30/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /31/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.

- /32/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /33/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /34/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Rev. 1, Stand: April 2022.