

Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Neustadt-Glewe

Erstellt im Auftrag für

WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH
Rostock OT Seebad Warnemünde

Revision 0

Hamburg, 08.02.2023

Revision	Datum	Änderung
0	08.02.2023	Erste Ausgabe

Gegenstand: Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung
Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort
Neustadt-Glewe

Referenz-Nr.: 2021-WND-RB-487-R0

Auftraggeberin: WIND-projekt Ingenieur- und
Projektentwicklungsgesellschaft mbH
Am Strom 1-4
18119 Rostock OT Seebad Warnemünde


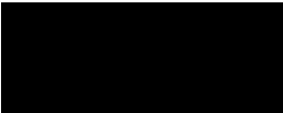
Anlagenherstellerin: Nordex SE
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg

WEA-Typ:	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Nordex N163/6.X	6,8	163,0	164,0

Eingereichte Unterlagen:

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

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	 Dr. J. Hauschild Sachverständiger	Hamburg, 08.02.2023
Geprüft durch	 M. Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 08.02.2023

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

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	5
2	Angaben zum Windenergieanlagen-Standort	7
3	Risikoanalyse	8
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i>	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	<i>Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 durch Eisabfall</i>	14
3.2.1	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	14
3.2.2	Trefferhäufigkeiten	15
4	Modell- und Datenunsicherheiten	17
5	Zusammenfassung und Risikobewertung	17
6	Rechtsbelehrung	21
7	Formelzeichen und Abkürzungen	22
8	Literatur- und Quellenangaben	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/.....	7
Abbildung 2:	Fallweiten bei 20,9 m/s Windgeschwindigkeit.	13
Abbildung 3:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 20,9$ m/s).	14
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	15
Abbildung 5:	Mittlere Trefferhäufigkeiten [$1/m^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.	10
Tabelle 2:	Idealisierte Eisobjekte.....	12
Tabelle 3:	Ermittelte maximale Fallweiten.	12
Tabelle 4:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.....	16

1 Aufgabenstellung

Am Standort Neustadt-Glewe in Mecklenburg-Vorpommern plant die WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Nordex N163/6.X mit 164,0 m Nabenhöhe (NH) und 163,0 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA befinden sich die Autobahn A14 sowie der Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /24/ §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 /25/), 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 Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen /23/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /23/ 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 WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit Schreiben vom 21.11.2022 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 Autobahn A14 sowie von Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ 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. Qualitative Prüfung des Konzepts der Eiserkennung der WEA des Typs Nordex N163/6.X.
3. Darstellung der ermittelten Kenngrößen zur Risikobewertung.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte von WEA des Typs Nordex N163/6.X am WEA-Standort Neustadt-Glewe 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 Autobahn A14 sowie von Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ 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 /29/.

2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die Lage der geplanten WEA des Typs Nordex N163/6.X ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

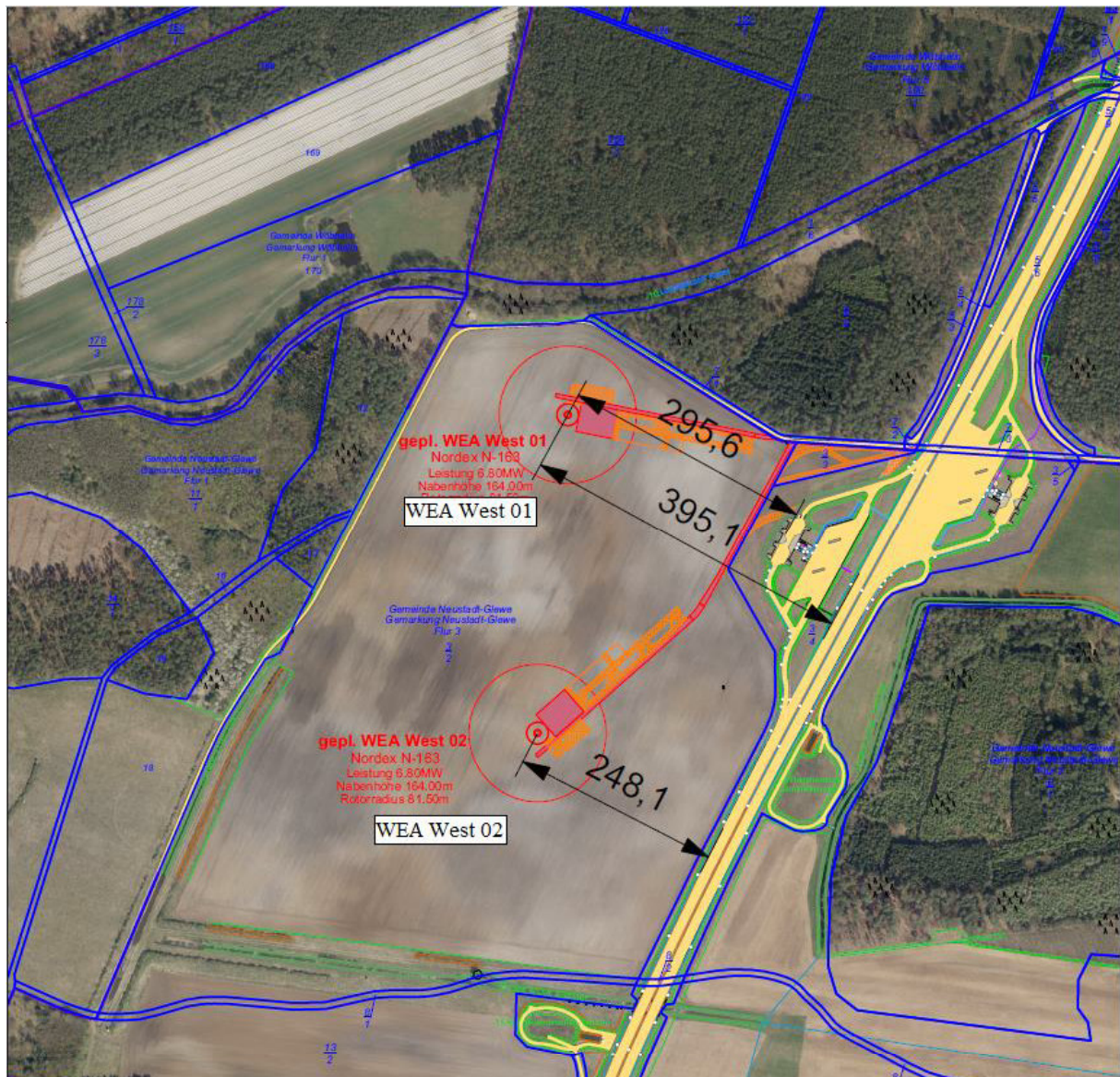


Abbildung 1: Lageplan /2/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Neustadt-Glewe ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. In der Nähe der geplanten WEA befinden sich die Autobahn A14 sowie der Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ (siehe Abbildung 1, gelb markiert). Gemäß Abbildung 1 beträgt der kürzeste Abstand der WEA West 02 (WEA-Mittelpunkt) zur Autobahn A14 248,1 m und der kürzeste Abstand der WEA West 01 (WEA-Mittelpunkt) zum Autobahnparkplatz 295,6 m.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /2/ und der Standortbeschreibung /5/ entnommen.

3 Risikoanalyse

3.1 Eisabwurf und Eisabfall

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

Geschlossene Fahrzeuge bieten Schutz, könnten aber beschädigt werden. Bei Fahrzeugen in Bewegung könnten im Falle eines Treffers reflexartige Reaktionen der Fahrer:innen 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 5) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

3.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind außerdem die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemein gültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /18/, /19/, /20/.

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 Neustadt-Glewe ist gemäß den Eiskarten Europas /10/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /12/, /13/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /11/ im Mittel mit ca. 9 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 Gütisch“ /15/, /16/, /17/ 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 /17/. Unter Berücksichtigung der in /16/ ausgewiesenen Häufigkeit der Vereisung für den Standort Gütisch 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 Gütisch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen. In Tabelle 1 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D ² [m ²]	Verhältnis	Eisobjekte/ Vereisung
ENERCON E-40/6.44	44,0	1.936	1,0	ca. 14
Nordex N163/6.X	163,0	26.569	13,7	ca. 192

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 geplante WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügt. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von der abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen. 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 /23/.

Für die Eiserkennung wird das von Nordex verwendete Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel in die geplanten WEA eingebaut /4/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht auf der Messung von Beschleunigungen und Temperatur direkt an den Rotorblättern. In jedem Rotorblatt misst ein Beschleunigungssensor die Eigenschwingungen des elastischen Rotorblattes, eine zentrale Einheit wertet die Daten der einzelnen Sensoren aus. Weichen die Messdaten von den ermittelten Referenzdaten (ermittelt über eine Lernphase am Standort) ab, so wird dies als Eisansatz interpretiert und die WEA daraufhin abgeschaltet /8/.

Die Eiserkennung ist auch bei einer abgeschalteten WEA (Trudelbetrieb) möglich. Hierbei ist zu beachten, dass die WEA zur Eiserkennung trudelt und mindestens eine Windgeschwindigkeit von ca. 3 m/s herrschen muss. Steht die WEA mit Eisansatz komplett still, so wird die WEA anschließend erst in einen Trudelbetrieb gefahren, bis das System den eisfreien Zustand erkannt hat und die Anlage zum automatischen Neustart freigibt /8/.

Das System wurde nach DNVGL-SE-0439 „Zertifizierung der Zustandsüberwachung“ zertifiziert /6/. Mit /7/ wurde für die Eiserkennung mittels IDD.Blade bestätigt, dass das System dem Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Gemäß /7/ 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 /7/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet. Die Einbindung des Systems in Nordex WEA wurde von TÜV NORD geprüft /8/. Im Rahmen dieser Prüfung wurden die Sensibilität, die Parametrierung und die Integration in die WEA-Steuerung bewertet. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Funktion des Eiserkennungssystems IDD.Blade und die Integration in die WEA-Steuerung dem Stand der

Technik entsprechen und auch ein automatisches Wiederauffahren nach Vereisung als sicher zu bewerten ist /7/, /8/.

Ein Wegschleudern des Eises von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) ist aufgrund des geplanten Systems zur Eiserkennung für den Standort Neustadt-Glewe 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: Nordex N163/6.X mit 164,0 m NH und 163,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,5 U/min) 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°C Lufttemperatur).

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. 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 /9/, /10/, /15/. Zudem hat sich in Feldstudien /15/ 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 /15/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m ³]	Form	mittlere Fläche [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. 245,5 m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 20,9 m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /2/) 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]
20,9	147,7	164,3	187,5	231,4	278,4

Tabelle 3: Ermittelte maximale Fallweiten.

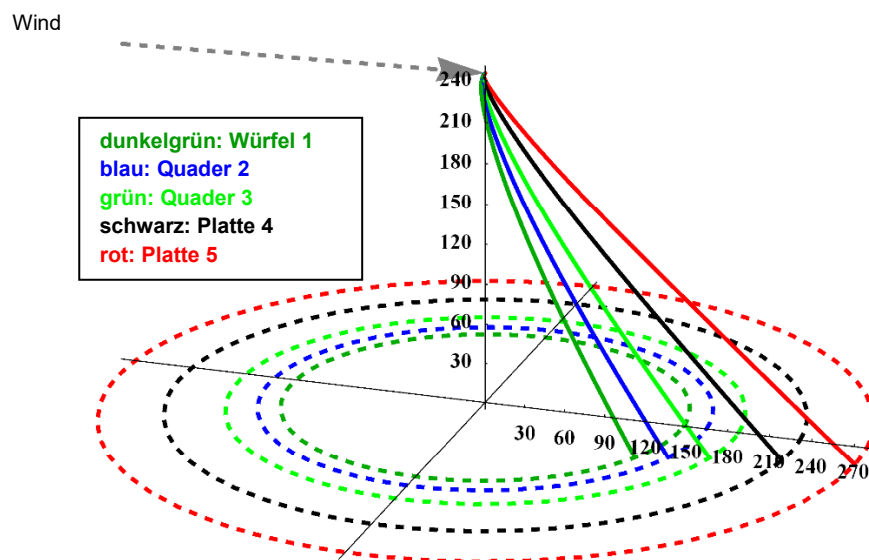


Abbildung 2: Fallweiten bei 20,9 m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Fallweite ist in der nachfolgenden Abbildung 3 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Teile des Gefährdungsradius der WEA West 02 Abschnitte der Autobahn A14 überdecken. Bezüglich des Autobahnparkplatzes „Ludwigsluster Kanal West“ ist zu erkennen, dass dieser außerhalb der ermittelten Gefährdungsradien der WEA West 01 und der WEA West 02 liegt. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse auf Basis einer Simulation des Eisabfalls durchgeführt (siehe Kapitel 3.2).

Für die landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /5/, für die im Winter außerhalb der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsperiode von einer unregelmäßigen Nutzung (untergeordnete Freizeitnutzung) ausgegangen werden kann, wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des ermittelten Gefährdungsradius qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 5).

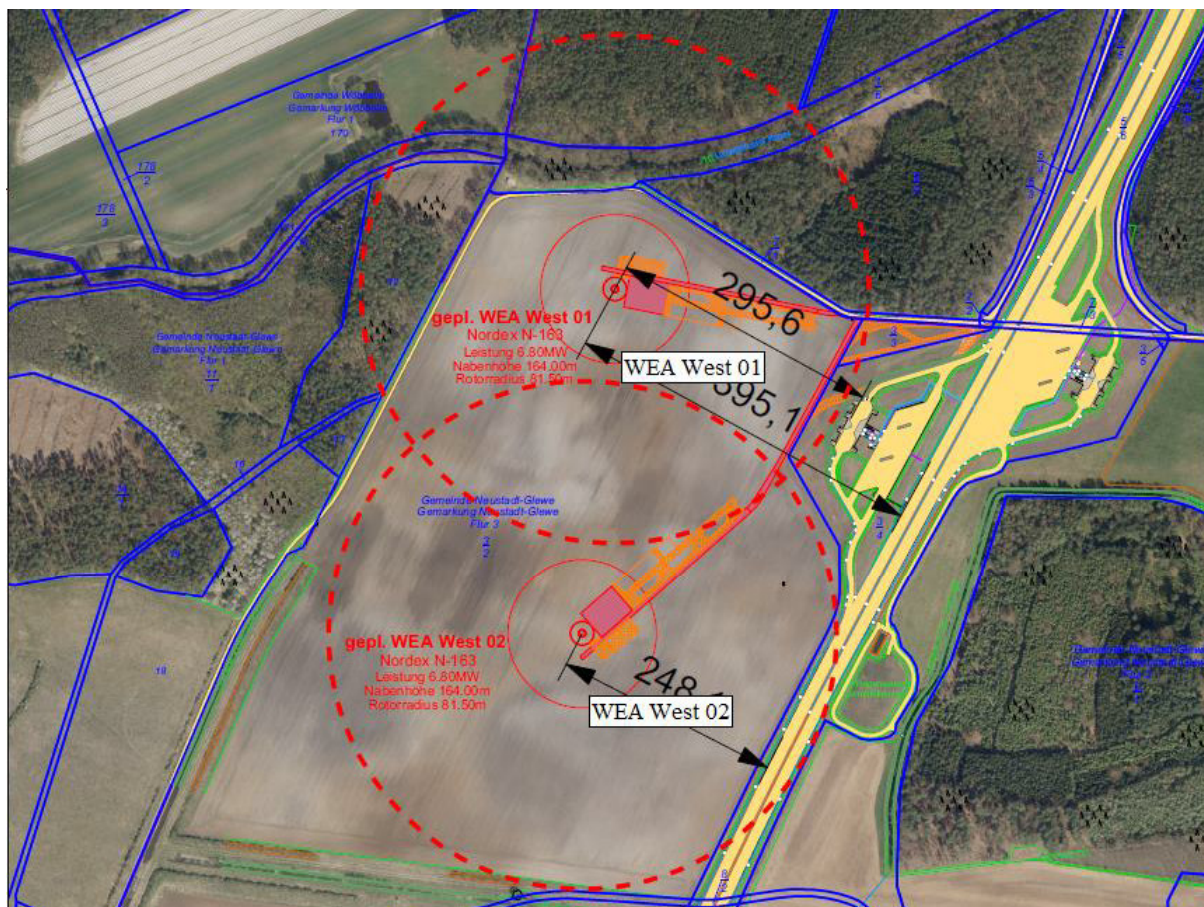


Abbildung 3: Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 20,9 \text{ m/s}$).

3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 durch Eisabfall

3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

Die Berechnungen der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgen ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /27/, /28/: 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: Nordex N163/6.X mit 164,0 m NH und 163,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,5 U/min) 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°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 /14/ 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.

3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.728 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (9 Vereisungstage pro Jahr mit je 192 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen von den geplanten WEA dargestellt.

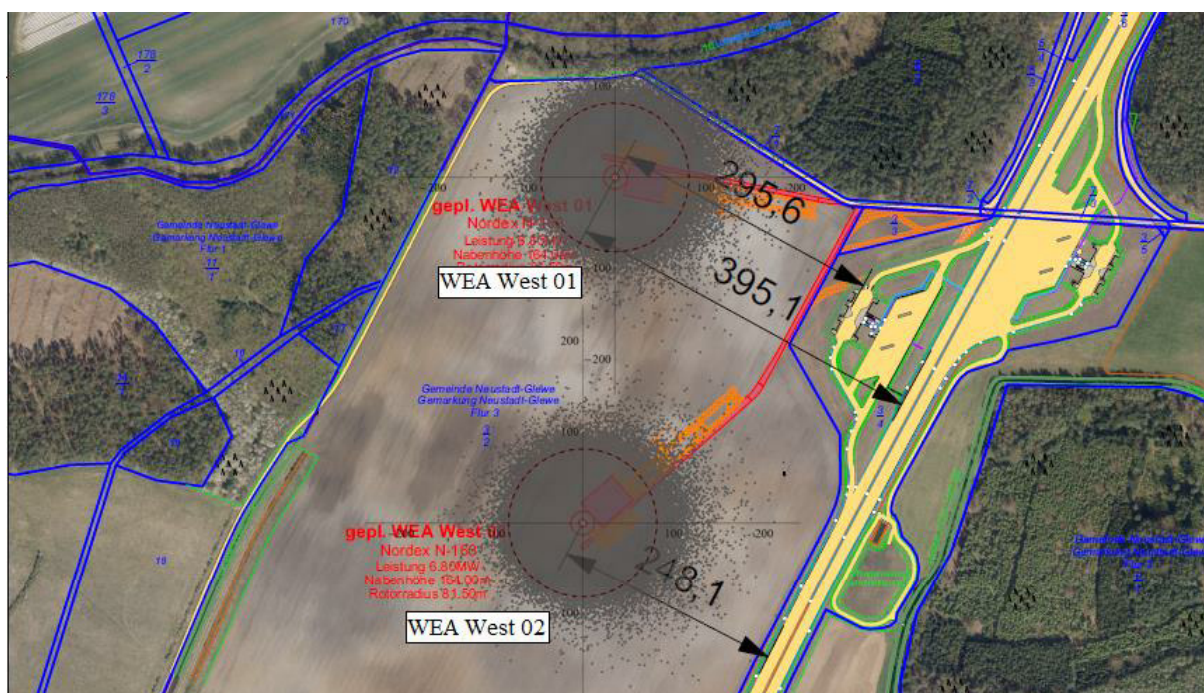


Abbildung 4: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

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 ²]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m ²)]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 1,7E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,7E-02 bis 1,7E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,7E-03 bis 1,7E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,7E-04 bis 1,7E-03
5*	Farblos	kleiner 1,0E-07	kleiner 1,7E-04

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

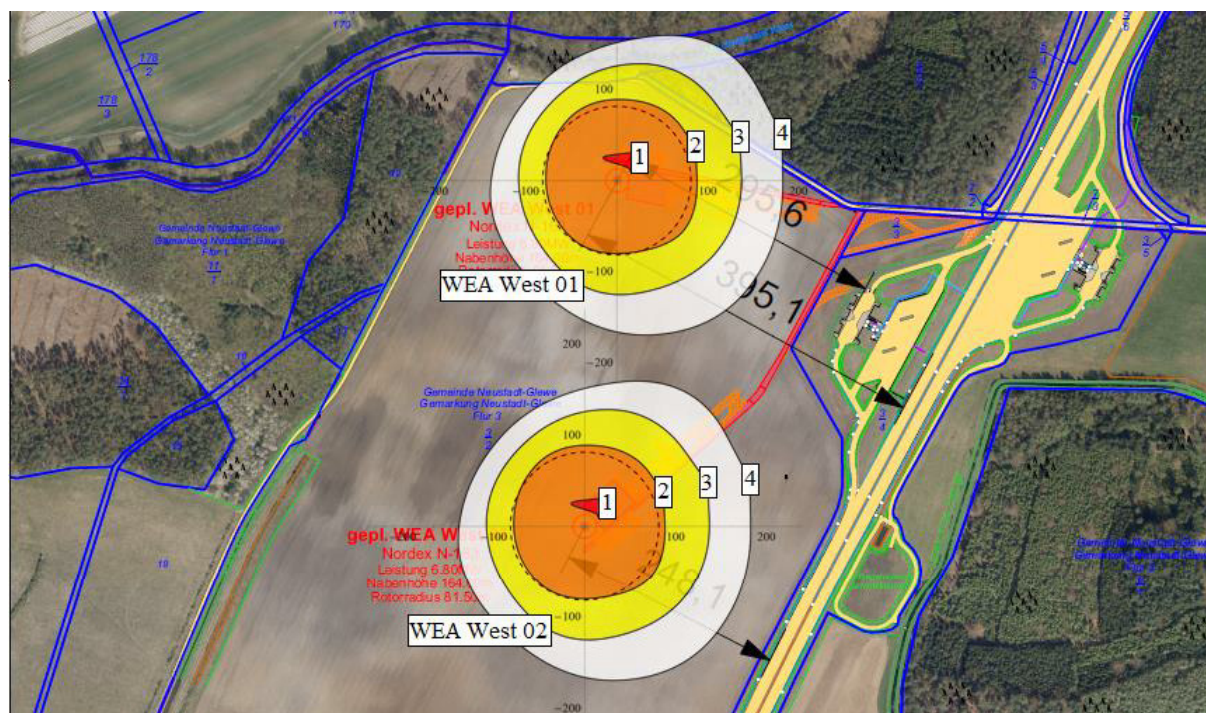


Abbildung 5: Mittlere Trefferhäufigkeiten [1/m²] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Detailanalyse des Eisabfalls in Abbildung 5 zeigen, dass die Autobahn A14 sowie der Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche der WEA West 01 und der WEA West 02 liegen. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 sowie von Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal

West“ ist durch Eisabfall von den beiden geplanten WEA somit nicht zu unterstellen und wird im Weiteren nicht detailliert betrachtet.

Teile der land- und forstwirtschaftlich genutzten Wege (z. B. nördlich der WEA West 01) werden durch Gefährdungsbereiche der geplanten WEA überdeckt. Die Nutzungshäufigkeit der Wege sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall innerhalb der ermittelten Gefährdungsradien werden im Kapitel 5 qualitativ berücksichtigt.

4 Modell- und Datenunsicherheiten

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

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

5 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Neustadt-Glewe in Mecklenburg-Vorpommern plant die WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH die Errichtung von zwei WEA des Typs Nordex N163/6.X mit 164,0 m NH und 163,0 m D. Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit Schreiben vom 21.11.2022 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden.

In der Nähe der geplanten WEA West 01 und WEA West 02 befinden sich die Autobahn A14 sowie der Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“. Der kürzeste Abstand der WEA West 02 (WEA-Mittelpunkt) zur Autobahn A14 beträgt 248,1 m und der kürzeste Abstand der WEA West 01 (WEA-Mittelpunkt) zum Autobahnparkplatz beträgt 295,6 m. Des Weiteren befinden sich in der Nähe der WEA Wirtschaftswege, welche land- und forstwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung).

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 und

von Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ sowie von Personen auf den umliegenden Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

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 /7/ und /8/ wurde bestätigt, dass die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems und die Einbindung in den geplanten WEA-Typ Nordex N163/6.X dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und zur Verhinderung von Eisabwurf geeignet sind.

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass die Autobahn A14 sowie der Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ nicht durch die im Rahmen der Detailanalyse (siehe Kapitel 3.2) ermittelten Gefährdungsbereiche der untersuchten WEA West 01 und WEA West 02 überdeckt werden. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 sowie von Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ durch Eisabfall von den beiden geplanten WEA ist somit nicht anzunehmen.

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass Teile des nördlich der WEA West 01 gelegenen land- und forstwirtschaftlich genutzten Weges durch Gefährdungsbereiche der WEA West 01 überdeckt werden.

Hinsichtlich der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung ist eine Gefährdung durch Eisabfall nicht anzunehmen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit weniger land- und forstwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten dennoch Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in überdachten Maschinen ausgeführt, welche einen Schutz gegen möglichen Eisabwurf/Eisabfall bieten. Die Fahrer:innen land- und forstwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabgeschleuderte oder 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.

Weitere risikoreduzierende Maßnahmen

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

- Die Funktionsfähigkeit der Eiserkennungssysteme der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /21/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /22/

geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität der Eiserkennungssysteme im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /21/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /22/ regelmäßig (wiederkehrende Prüfung) aufzuzeigen. Für die Inbetriebnahme der Eiserkennungssysteme sollte die Anlernphase der Eiserkennungssysteme 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 1,2-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen aller geplanten 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 Wege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm /29/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.
- Das Servicepersonal und Mitarbeiter:innen betroffener Forstbetriebe sollten im Rahmen der Sicherheitsunterweisung nach §12 Arbeitsschutzgesetz /26/ über die Gefährdungen durch Eisabfall unterrichtet werden. Zur Unterweisung gehören auch die vorgesehenen Warnhinweise, welche eine Gefahr durch Eisabwurf/Eisabfall anzeigen.

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 hauptsächlich land- und forstwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher geringen Frequentierung ausgegangen werden kann,
- dass davon auszugehen ist, dass der land- und forstwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen oder Fahrzeugen erfolgt (land- und forstwirtschaftlicher 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 verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14, für Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ sowie für Personen auf den umliegenden Wirtschaftswegen als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen für das Land Mecklenburg-Vorpommern /23/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabwurfs und des Eisabfalls bei Unterschreitung eines Abstands von $1,5 \times$ (Rotordurchmesser + Nabenhöhe)“

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /24/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine konkrete Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14, von Personen auf dem Autobahnparkplatz „Ludwigsluster Kanal West“ sowie von Personen auf den umliegenden Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA am Standort Neustadt-Glewe nach Umsetzung der üblichen Maßnahmen zur Risikominderung nicht anzunehmen.

6 Rechtsbelehrung

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

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

Die von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG erbrachten Leistungen (z.B. Gutachten-, Prüf- und Beratungsleistungen) dürfen nur im Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks verwendet werden. Vorbehaltlich abweichender Vereinbarungen im Einzelfall, räumt TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG der WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH 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 WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH 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 WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

7 Formelzeichen und Abkürzungen

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
a	Jahr	[a]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
D	Rotordurchmesser	[m]
h	Stunde	[h]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
LKW	Lastkraftwagen	
min	Minute	[min]
NH	Nabenhöhe	[m]
P_{Nenn}	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	
WEA	Windenergieanlage(n)	

8 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit E-Mail vom 19.01.2023.
- /2/ WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH. Übersichtskarte Neustadt-Glewe, Stand: 23.01.2023. Übermittelt durch WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit E-Mail vom 23.01.2023.
- /3/ WIND-consult GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten – Standort Neustadt-Glewe. Stand: 18.08.2017. Übermittelt durch WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit E-Mail vom 24.01.2023.
- /4/ WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit E-Mail vom 23.01.2023.
- /5/ WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH mit E-Mail vom 23.01.2023 und 08.02.2023.
- /6/ DNV Renewables Certification. Type Certificate: Ice Detection System IDD.Blade, Certificate No.: TC-DNVGL-SE-0439-03577-3, Stand: 17.01.2023, gültig bis: 16.01.2025.
- /7/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, IDD.Blade, Report-Nr.: 75148, Rev. 0, Stand 21.10.2019.
- /8/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Gutachten zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an Nordex Windenergieanlagen, Bericht: 8111 327 215, Rev. 6, Stand 08.07.2021.
- /9/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /10/ 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.
- /11/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /12/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /13/ 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.
- /14/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.

- /15/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /16/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /17/ 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.
- /18/ 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.
- /19/ 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.
- /20/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /21/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /22/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.
- /23/ Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern. Verwaltungsvorschrift Technischen Baubestimmungen M-V (VV TB M-V). Stand März 2022.
- /24/ BImSchG 2022. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 19.10.2022.
- /25/ 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.
- /26/ Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG). <http://www.gesetze-im-internet.de>. Gelesen am 10.01.2023. Stand 16.09.2022.
- /27/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /28/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /29/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.