

Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Kantow

Erstellt im Auftrag für

wpd onshore GmbH & Co. KG
Osnabrück

Revision 0

Hamburg, 29.04.2019

Revision	Datum	Änderung
0	29.04.2019	Erste Ausgabe

Gegenstand: Risikobeurteilung am Windenergieanlagen-Standort
Kantow

Referenz-Nr.: 2019-WND-RB-074-R0_E

Auftraggeber: wpd onshore GmbH & Co. KG
Franz-Lenz-Straße 4
49084 Osnabrück

Anlagenhersteller: Nordex SE
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg

WEA-Typ:	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Nordex N149	4,5	149,1	164,0

Vom Auftraggeber 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/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und des Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /5/.

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger	Hamburg, 29.04.2019
Geprüft durch	Dr. M. Polster Sachverständige	Hamburg, 29.04.2019

Für weitere Auskünfte:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
B.Sc. F. Lautenschlager
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 1482
Fax: +49 40 8557 2552
E-Mail: flautenschlager@tuev-nord.de

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Angaben zu den Windenergieanlagen und der Standortumgebung	8
3	Bewertungsmaßstab	9
3.1	<i>Individualrisiko.....</i>	9
3.2	<i>Kollektivrisiko</i>	10
4	Risikoanalyse.....	11
4.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall.....</i>	11
4.1.1	Vereisungspotential.....	12
4.1.2	Automatische Eisabschaltung	13
4.1.3	Randbedingungen.....	14
4.1.4	Gefährdungsradius.....	15
4.2	<i>Detailanalyse Gefährdung des Wirtschaftswegs.....</i>	17
4.2.1	Randbedingungen.....	17
4.2.2	Trefferhäufigkeiten	18
5	Modell- und Datenunsicherheiten	21
6	Zusammenfassung und Risikobewertung	21
7	Rechtsbelehrung	24
8	Formelzeichen und Abkürzungen	25
9	Literatur- und Quellenangaben.....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /3/.....	8
Abbildung 4:	F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /117/.....	11
Abbildung 5:	Fallweiten bei 18,4m/s Windgeschwindigkeit.	16
Abbildung 6:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 18,4\text{m/s}$).	17
Abbildung 7:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	19
Abbildung 8:	Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.	13
Tabelle 4:	Idealisierte Eisobjekte.....	15
Tabelle 5:	Ermittelten maximale Fallweiten.	15
Tabelle 7:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.	20

1 Aufgabenstellung

Am Standort Kantow in Brandenburg plant der Auftraggeber, die wpd onshore GmbH & Co. KG, die Errichtung von sieben Windenergieanlagen (WEA) des Typs Nordex N149 mit 164,0m Nabenhöhe (NH) und 149,1m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verläuft ein landwirtschaftlicher Verkehrsweg (Wirtschaftsweg).

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /22/ §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 /23/), der Einfluss auf das Schutzniveau der Umwelt ist für den jeweiligen Standort zu bewerten (standortbezogene Risikobeurteilung).

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit nicht durch die geplanten WEA beeinträchtigt wird. In der durch das Bundesland Brandenburg eingeführten Liste der Technischen Baubestimmungen /20/, werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /20/ gelten Abstände größer als $1,5 \times (D + NH)$ im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen gemäß DIN 1055-5 /18/ als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der wpd onshore GmbH & Co. KG mit Schreiben vom 27.03.2019 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf dem landwirtschaftlichen Verkehrsweg 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 N149.
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 N149 am Windenergieanlagen-Standort Kantow 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, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme. Die Risikobeurteilung erfolgt auf Grundlage der eingereichten Unterlagen. Es wurde ausschließlich die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf den landwirtschaftlichen Verkehrswegen (Wirtschaftsweg) durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neugeplanten WEA beurteilt, mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der geplanten WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme.

2 Angaben zu den Windenergieanlagen und der Standortumgebung

Die Lage der geplanten WEA (siehe Abbildung 1 orange hinterlegt) des Typs Nordex N149 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

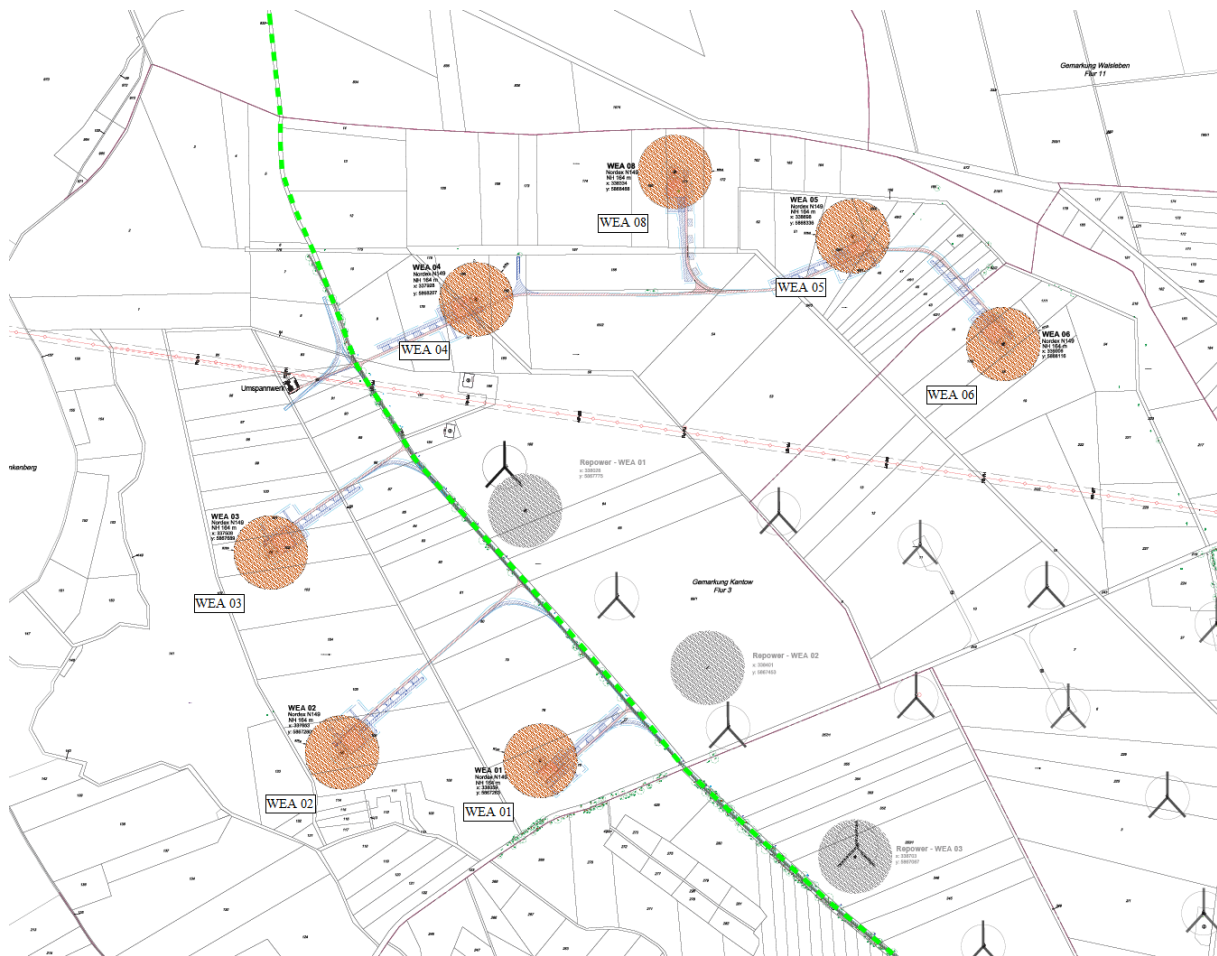


Abbildung 1: Lageplan /2/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Kantow ist durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung geprägt. Innerhalb des geplanten Windparks verläuft ein überwiegend landwirtschaftlich genutzter Wirtschaftsweg (siehe Abbildung 1, grün gestrichelte Linie), welcher gemäß /5/ von maximal 20 Fahrzeugen pro Tag genutzt wird. Der kürzeste Abstand der WEA 01 zum Wirtschaftsweg beträgt ca. 205m.

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

3 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) /24/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /25/.
- Risk Criteria in EU /27/.
- Deutsche Störfall-Kommission - Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung /28/.
- Auswertung des VdTÜV /29/.

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) /24/).

Für die Beurteilung von Personengefährdungen ist sowohl das Einzelpersonenrisiko (Individualrisiko) als auch das Gruppenrisiko (Kollektivrisiko) zu betrachten. Für die Bewertung ungeschützter Personen werden die im Folgenden dargestellten Bewertungsmaßstäbe herangezogen. Der Bewertungsmaßstab für das Individualrisiko ist im Kapitel 3.1 und für das Kollektivrisiko im Kapitel 3.2 hergeleitet. Für die Bewertung möglicher betroffener Straßenverkehrsabschnitte, wird neben dem Individualrisiko die Gefährdung im Straßenverkehr als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen /26/ beurteilt.

3.1 Individualrisiko

MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /24/ beschreibt die gegebene Sterberate pro Person und Jahr unter Berücksichtigung verschiedener Ursachen aus den Bereichen Freizeit, Arbeit und Verkehr. In wirtschaftlich gut entwickelten Ländern ist die endogene Sterblichkeit für die Gruppe der 5- bis 15-jährigen am niedrigsten /24/. Die in /24/ getätigten Angaben decken sich mit aktuellen Erhebungen des GBE /25/. 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 /25/ 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 /29/ 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 zu einander 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 $1,0E-06$ ist als unkritisch zu bewerten. Liegt das ermittelte Individualrisiko in einem Bereich zwischen $1,0E-06$ und $1,0E-05$ ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip (As Low As Reasonably Practicable) /27/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko oberhalb von $1,0E-05$ wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

3.2 Kollektivrisiko

Neben der Bestimmung des Individualrisikos ist für die Beurteilung von Personenschäden auch die Bestimmung des Kollektivrisikos nötig. Befinden sich im Bereich der geplanten WEA öffentlich genutzte Bereiche, auf welchen sich Personen regelmäßig ungeschützt aufhalten, so ist das Kollektivrisiko zu bestimmen.

Für die Beurteilung des Kollektivrisikos ist die Anzahl der Personenschäden und die Eintrittshäufigkeit je Ereignis zu ermitteln. Die Bewertung der ermittelten Eintrittshäufigkeit kann in Anlehnung an das in Abbildung 2 dargestellte F-N-Diagramm erfolgen. Im F-N-Diagramm wird die Anzahl der Todesfälle je Ereignis (N) mit der Eintrittshäufigkeit (F) kombiniert. Für Eisabfall ist N gleich eins zu setzen. Die Anzahl der Personen, welche sich an einem Ereignistag (z.B. Eisabfall) im Gefährdungsbereich der WEA aufhalten können, wird bei der Ermittlung der Eintrittshäufigkeit berücksichtigt.

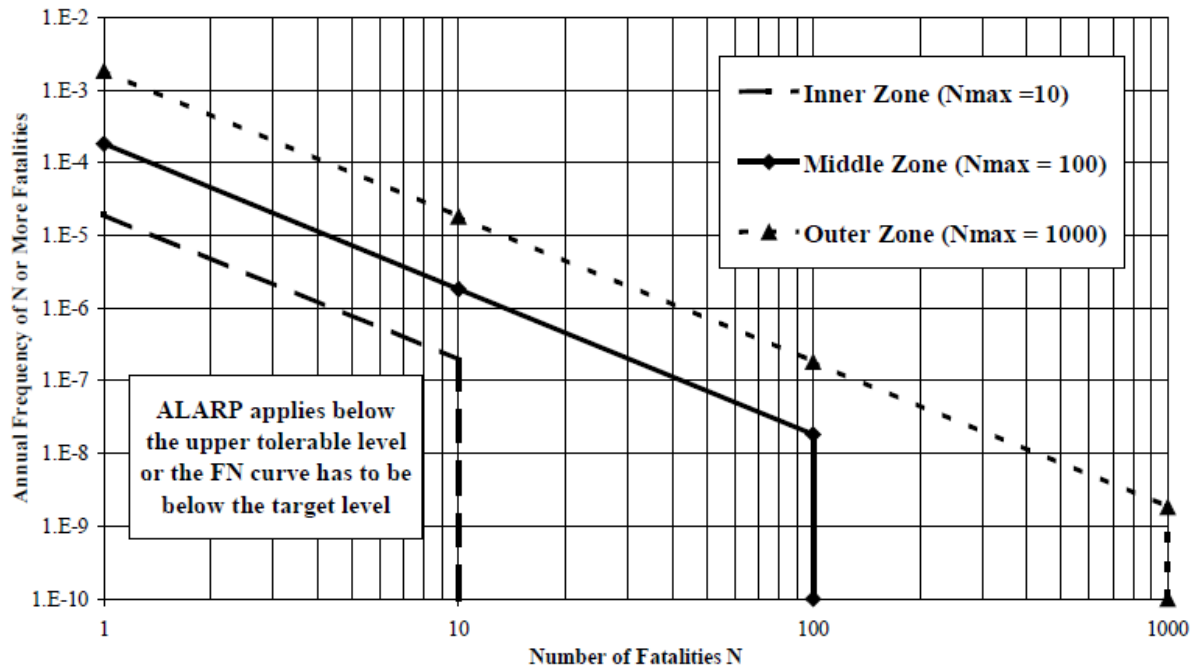


Abbildung 2: F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /27/.

Für die Ermittlung eines Bewertungsmaßstabes für das Kollektivrisiko von Personen, welche sich ungeschützt im Umkreis der WEA aufhalten, wurden die im Kapitel 3 aufgeführten Quellen verglichen. Daraus lässt sich für das Kollektivrisiko ein tolerabler Risikogrenzwertbereich von 1,0E-05 bis 1,0E-03 feststellen.

- Der untere Grenzwert des Kollektivrisikos liegt in einer Größenordnung von 1,0E-05 pro WEA und Jahr.
- Der obere Grenzwert des Kollektivrisikos liegt in einer Größenordnung von 1,0E-03 pro WEA und Jahr.

Ein ermitteltes Kollektivrisiko unterhalb von 1,0E-05 ist als unkritisch zu bewerten. Liegt das ermittelte Kollektivrisiko in einem Bereich zwischen 1,0E-05 und 1,0E-03 ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /27/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Kollektivrisiko oberhalb von 1,0E-03 wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

4 Risikoanalyse

4.1 Eisabwurf und Eisabfall

Eisstücke oder Eiszapfen, die aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit herabgeschleudert werden oder herunterfallen, können für Personen

oder Verkehrsteilnehmer 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 des Fahrers zu Unfällen führen. Demgegenüber stellen herabfallende Eisplatten von LKW mit Planenaufbau für Verkehrsteilnehmer 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. Daraufgehend wird die Gefährdung durch Eisabfall ermittelt. Die Ergebnisse werden in der Risikobewertung (siehe Kapitel 6) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

4.1.1 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 /15/, /16/, /17/.

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 Kantow ist gemäß der Eiskarte Europa /8/ und den Vereisungstagen des DWD /9/, /10/ im Mittel mit ca. 13 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“ /12/, /13/, /14/ wurden unter anderem beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte einer WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0m statistisch erfasst. So wurden in vier Jahren mind. 250 Eisobjekte beobachtet /14/. Unter Berücksichtigung der in /13/ 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, setzen wir für die Anzahl der Eisabwurf- bzw. Eisabfallereignisse, unter Berücksichtigung einer geschätzten Dunkelziffer von 100%, einen Wert von 14 Eisobjekten/Vereisung an.

Da die Studie „Alpine Test Site Gütsch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen. Eine sinnvolle Basis ist die gebildete Eismenge, welche proportional zu D^2 ist. 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	44,0	1.936	1,0	ca. 14
Nordex N149	149,1	22.231	11,5	ca. 161

Tabelle 1: Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.

4.1.2 Automatische Eisabschaltung

Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern der WEA ist zunächst zu prüfen, ob die geplanten WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügen. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von den abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen.

Für die Eiserkennung ist in die geplanten WEA das von Nordex verwendete Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel vorgesehen /4/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht auf der Messung von Beschleunigungen und Temperatur direkt an dem Rotorblatt. Die Sensoren zur Messung der Beschleunigung werden in jedem Rotorblatt verbaut und durch eine zentrale Einheit ausgewertet. Weichen die Messdaten von den ermittelten Referenzdaten (ermittelt über Lernphase am Standort) ab, so wird dies als Eisansatz interpretiert und die WEA daraufhin abgeschaltet /6/.

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 2m/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 /6/.

Das in Nordex WEA verwendete Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel wurde von TÜV NORD geprüft /6/. Im Rahmen dieser Prüfung wurden die Sensibilität, die Parametrierung und die Integration in die WEA-Steuerung bewertet. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Integration des Eiserkennungssystems in die WEA-Steuerung und die Funktion des Eiserkennungssystems IDD.Blade dem Stand der Technik entspricht und kritische Vereisungen frühzeitig erkennt /6/.

4.1.3 Randbedingungen

Für die Berechnungen der Fallweiten werden die folgenden Rahmenbedingungen angenommen:

- WEA: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 - 2,48 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 und 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 wenig belastbare Angaben. Die zur Verfügung stehenden Angaben deuten darauf hin, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen /7/, /8/, /12/. Zudem hat sich in Feldstudien /12/ 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 /12/ auf 1,0kg 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.

4.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 239m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 18,4m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /3/) auf Basis der in Tabelle 2 angegebenen Eisobjekte die maximalen Fallweiten ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 und die entsprechenden Fallkurven in Abbildung 3 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
18,4	122,2	136,7	156,9	195,2	236,0

Tabelle 3: Ermittelten maximale Fallweiten.

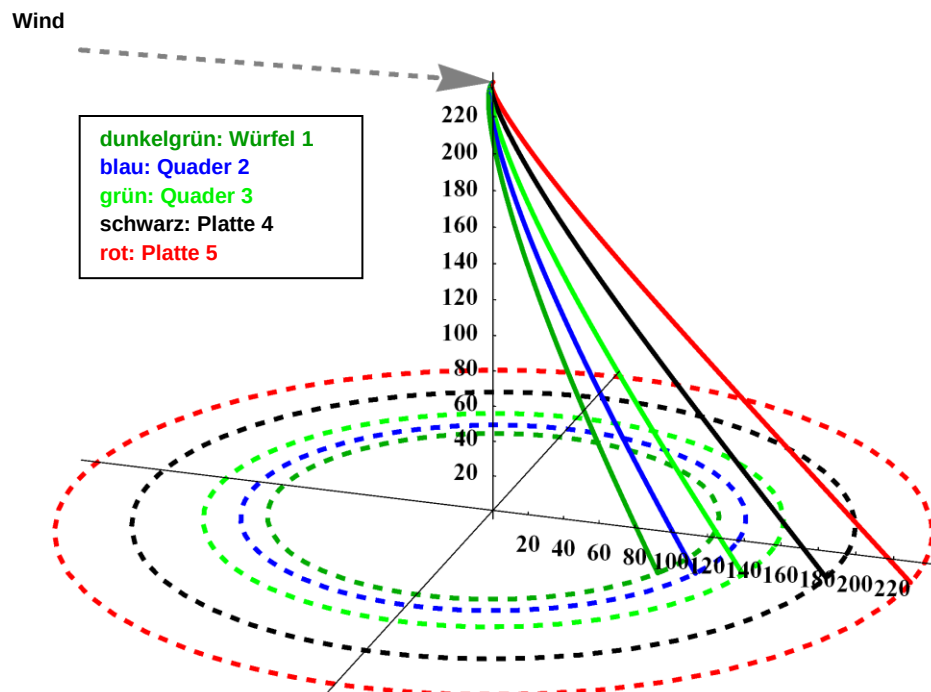


Abbildung 3: Fallweiten bei 18,4m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelten maximalen Fallweiten sind der Spalte 6 der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximalen Fallweiten sind in der nachfolgenden Abbildung 4 als Gefährdungsradien (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Abschnitte des Wirtschaftswegs durch den Gefährdungsradius der geplanten WEA 01 überdeckt werden. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf dem Wirtschaftsweg durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse und die Simulation des Eisabfalls durchgeführt (siehe Kapitel 4.2).

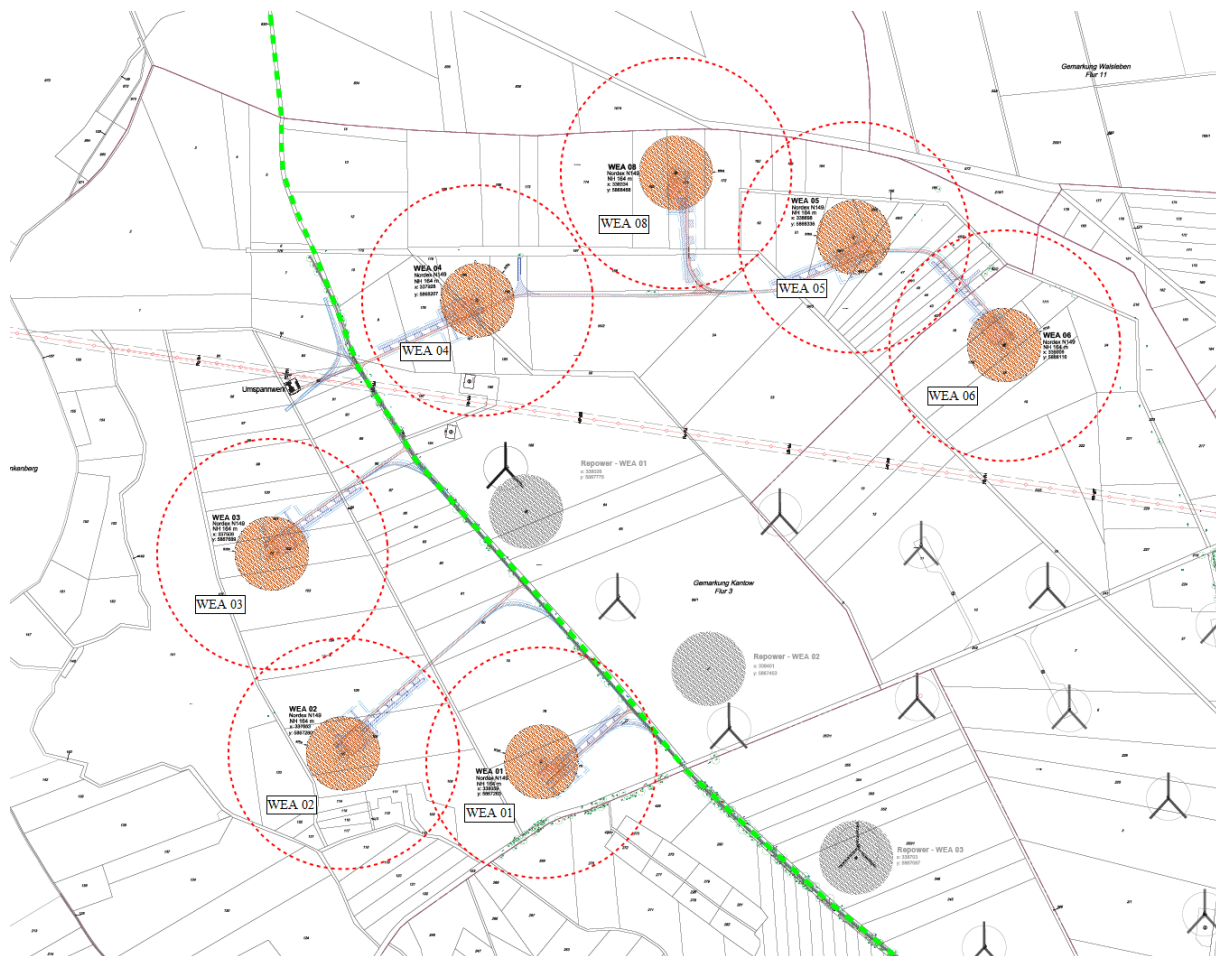


Abbildung 4: Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 18,4\text{m/s}$).

4.2 Detailanalyse Gefährdung des Wirtschaftswegs

4.2.1 Randbedingungen

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 /30/, /31/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblatts, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden pro WEA etwa 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Nordex N149 mit 164,0m NH und 149,1m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 - 2,48 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.

- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes aus dem Windgutachten /3/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes aus dem Windgutachten /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 4.1.3.
- Lageparameter des Eisobjekts:
Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /11/ 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° , 360°) 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.

4.2.2 Trefferhäufigkeiten

In Abbildung 5 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen der jeweiligen WEA dargestellt.

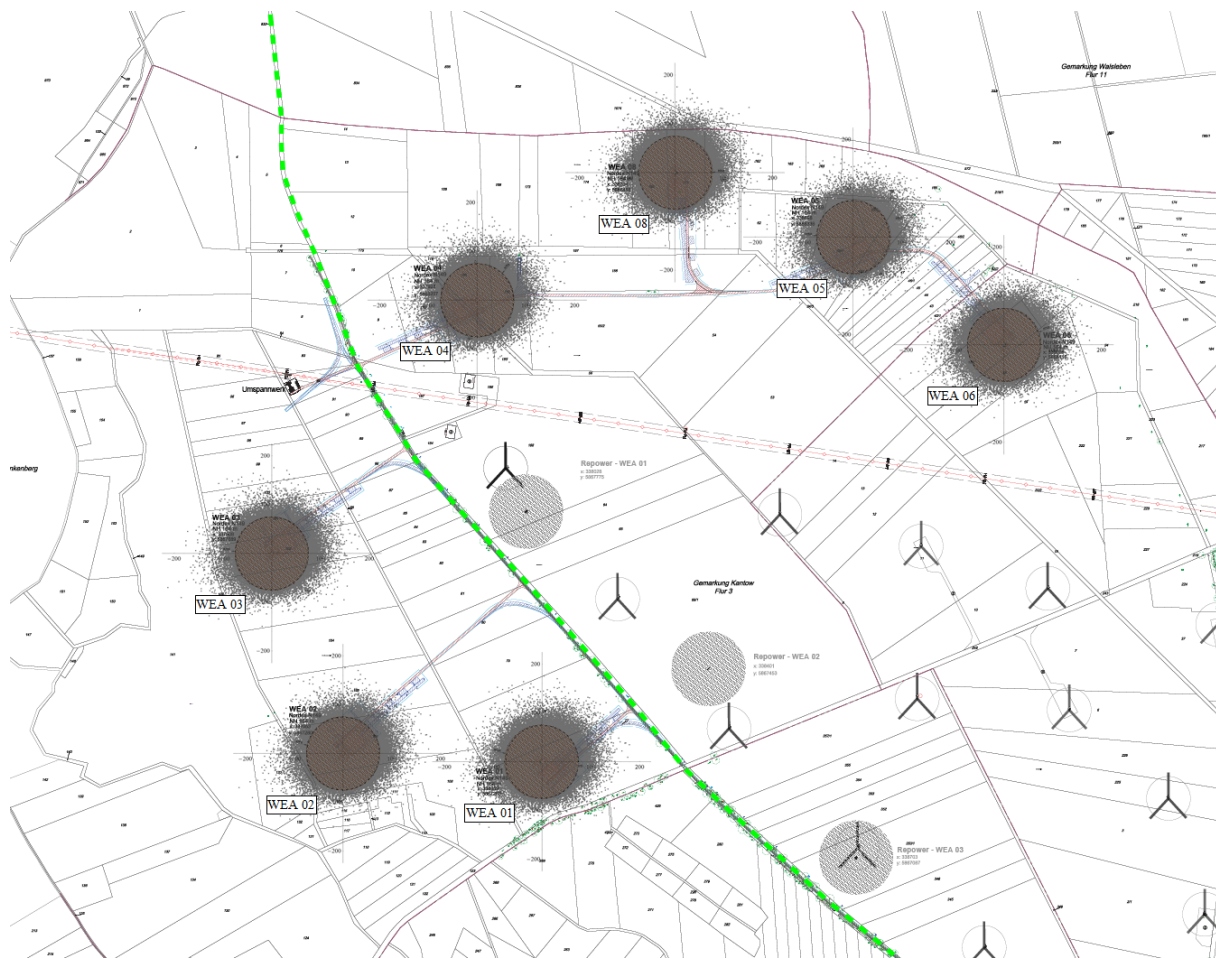


Abbildung 5: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 6 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro Quadratmeter und Eisabfall-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 4.1.1 ein Wert von 2.093 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (13 Vereisungstage pro Jahr mit je 161 Eisabfall-Ereignissen). 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 2,1E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	2,1E-02 bis 2,1E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	2,1E-03 bis 2,1E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	2,1E-04 bis 2,1E-03
5*	Farblos	kleiner 1,0E-07	kleiner 2,1E-04

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

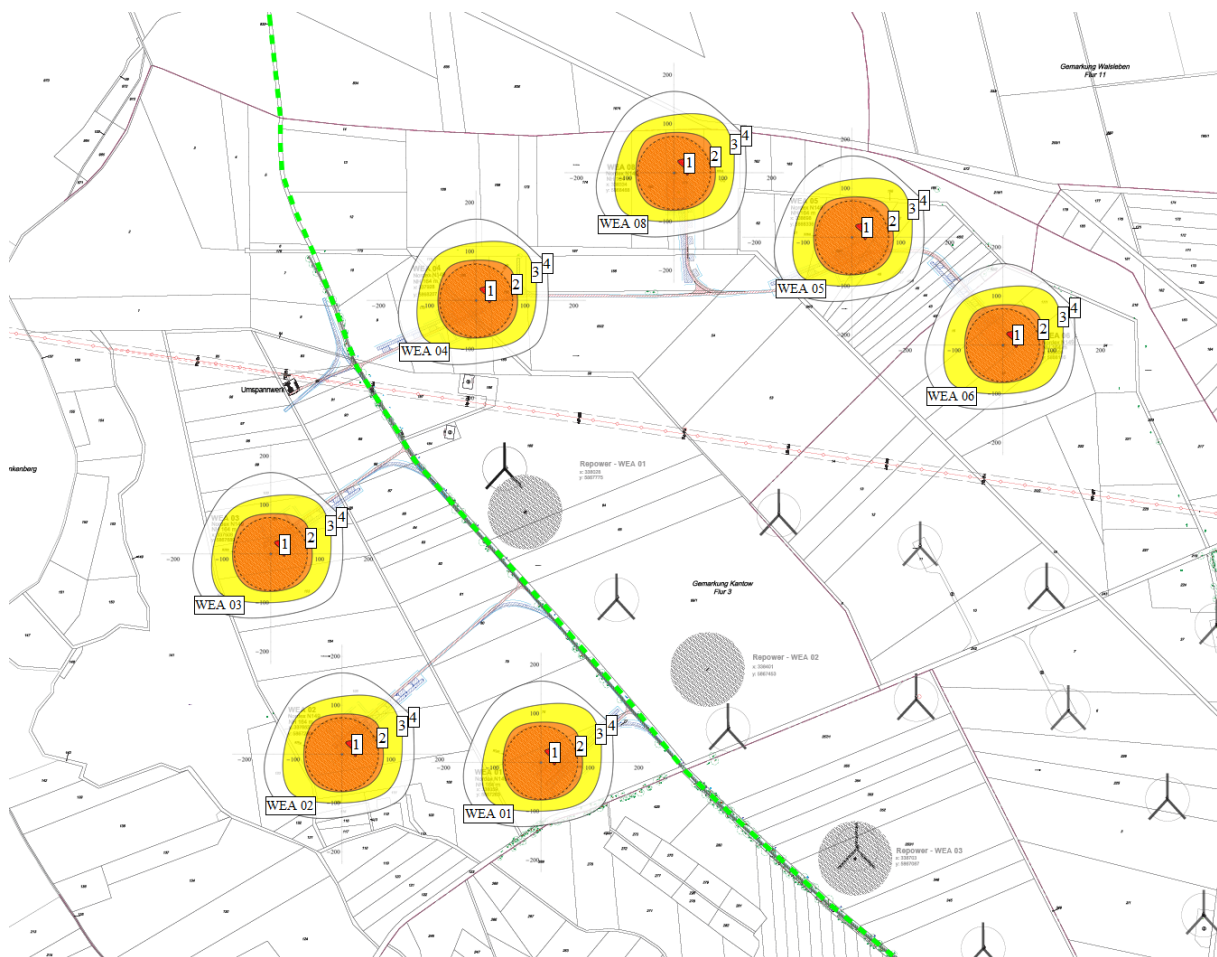


Abbildung 6: Trefferhäufigkeiten [1/m²] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 6 zeigen, dass die ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall keine Abschnitte des Wirtschaftswegs überdecken. Eine direkte Gefährdung durch Eisabfall von den geplanten WEA für den Wirtschaftsweg ist somit nicht zu unterstellen.

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. Es ist davon auszugehen, dass eine Abgrenzung der Gefährdungsbereiche im Ereignisfall in der Realität nicht so scharf ist, wie in den Ergebnissen dargestellt. Insofern sind die dargestellten Ergebnisse als ungefähre Darstellung zu verstehen und dienen der Orientierung.

6 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Kantow in Brandenburg plant der Auftraggeber, die wpd onshore GmbH & Co. KG, die Errichtung von sieben WEA des Typs Nordex N149 mit 164,0m NH und 149,1m D. In der Nähe der geplanten WEA verläuft ein landwirtschaftlicher Verkehrsweg (Wirtschaftsweg).

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf dem nahegelegenen Wirtschaftsweg durch Eisabwurf/Eisabfall vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

Mit /6/ wurde für die Eiserkennung bestätigt, dass das System dem Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Auf Basis der TÜV NORD zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 4.1.2) von drehenden Rotoren kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachtete WEA nicht anzunehmen ist.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls (siehe Kapitel 4.2.2) zeigen, dass die ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall keine Abschnitte des Wirtschaftswegs überdecken. Eine direkte Gefährdung durch Eisabfall von den geplanten WEA für Verkehrsteilnehmern auf den Wirtschaftsweg ist somit nicht zu unterstellen.

Für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswegen (inkl. Zufahrten der WEA-Standorte), ist eine Gefährdung durch Eisabfall nicht zu unterstellen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen landwirtschaftlichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit geringem land- und forstwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten hier forstwirtschaftliche Arbeiten im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen

durchgeführt. Bei Forstarbeiten im Freien wird üblicherweise ein Helm getragen bzw. kommen bei größeren Durchforstungsmaßnahmen überdachte Maschinen zum Einsatz. Diese bieten einen Schutz gegen möglichen Eisabfall. Sollten landwirtschaftliche Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise ebenfalls in überdachten Maschinen ausgeführt. Die Fahrer land- und forstwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabfallende Eisobjekte geschützt. Sie haben über sich ein festes Dach und vor sich eine senkrechte Scheibe. Ein von oben herabstürzendes Eisobjekt könnte demnach auf das Dach fallen. Dem TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt feste Dach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 4.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 4 empfehlen wir die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /21/, /19/ durch eine befähigte Person geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /21/, /19/ durch eine befähigte Person aufzuzeigen. Für die Inbetriebnahme des Eiserkennungssystems sollte die Anlernphase des Eiserkennungssystems 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 dem Wirtschaftsweg auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzern der Wirtschaftswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.
- Die Mitarbeiter der betroffenen Forstbetriebe sollten im Rahmen der Sicherheitsunterweisung nach §12 Arbeitsschutzgesetz /32/ über die Gefährdungen durch Eisabfall unterrichtet werden. Zur Unterweisung gehören auch die vorgesehenen Warnhinweise, welche eine Eisabfallgefahr anzeigen. Durch den Betreiber der geplanten WEA sind die hierfür benötigten Unterlagen für die betroffenen Forstbetriebe zur Verfügung zu stellen.

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 Forstarbeiten im Freien in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt werden, sowie dass bei Forstarbeiten ein Helm getragen wird und grundsätzlich von einem erhöhten Gefahrenpotential durch brechende Äste / Bäume und durch die Arbeit mit der Kettensäge ausgegangen werden muss,
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftsweg / Zufahrten) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /5/ hauptsächlich landwirtschaftlich sowie von wenigen Fahrzeugen pro Tag genutzt werden und im Winter von einer untergeordneten Freizeitnutzung ausgegangen werden kann,
- dass davon auszugehen ist, dass der land- und forstwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen erfolgt (landwirtschaftlicher Verkehr ist im Winter außerhalb der Wirtschaftsperiode als eher gering anzusehen),
- dass 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 zur Risikominderung verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer auf dem nahegelegenen Wirtschaftsweg als unkritisch zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Liste der Technischen Baubestimmungen des Bundeslandes Brandenburg /20/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von $1,5 \times (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})$ “

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /22/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine signifikante Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf dem nahegelegenen Wirtschaftsweg durch die Errichtung der geplanten WEA am Standort Kantow durch Eisabwurf/Eisabfall nach Umsetzung der genannten Maßnahmen zur Risikominderung nicht anzunehmen.

7 Rechtsbelehrung

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

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der vom Auftraggeber übermittelten Informationen und Angaben und für durch unrichtige Angaben bedingte falsche Aussagen.

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 dem Auftraggeber 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 der Auftraggeber 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, dem Auftraggeber die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

8 Formelzeichen und Abkürzungen

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
a	Jahr	[a]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
CMS	Condition Monitoring System	
D	Rotordurchmesser	[m]
GBE	Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes	
GR	Gefährdungsradien	
h	Stunde	[h]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
Kfz	Kraftfahrzeug	
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimale endogene Sterblichkeit	
min	Minute	[min]
NH	Nabenhöhe	[m]
P _{Nenn}	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
WEA	Windenergieanlage(n)	

9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ wpd onshore GmbH & Co. KG. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch wpd onshore GmbH & Co. KG mit E-Mails vom 20.03.2019 und vom 02.04.2019.
- /2/ wpd onshore GmbH & Co. KG. Lageplan: Windpark Kantow. Stand: 15.03.19. Übermittelt durch wpd onshore GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 20.03.2019.
- /3/ UL International GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten: Windpotential- und Energieertragsermittlung. Stand: 07.02.19. Übermittelt durch wpd onshore GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 05.04.2019.
- /4/ wpd onshore GmbH & Co. KG. Angaben zum Eiserkennungssystem: IDD.Blade. Übermittelt durch wpd onshore GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 05.04.2019.
- /5/ wpd onshore GmbH & Co. KG. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch wpd onshore GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 02.04.2019.
- /6/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Gutachten, Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an Nordex Windenergieanlagen, Bericht: 8111327215, Rev. 4, Stand 05.03.2019.
- /7/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /8/ Tammelin, B. et al. Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014), ISBN 951-679-518-6. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland. 2000.
- /9/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /10/ Wichura, B. (DWD). The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icings, IWAIS 2013.
- /11/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /12/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /13/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /14/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.

- /15/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010.
- /16/ 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.
- /17/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /18/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Berlin. Juli 2005.
- /19/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /20/ Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung (Land Brandenburg). Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Fassung Oktober 2018.
- /21/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /22/ BImSchG 2017. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 29.05.2017.
- /23/ 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.
- /24/ DIN EN 50126. Bahnanwendungen. Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). März 2000.
- /25/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /26/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2018.
- /27/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /28/ Störfall-Kommission. 2004. Bericht, Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41.
- /29/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /30/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /31/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.

/32/ Arbeitsschutzgesetz. <http://www.gesetze-im-internet.de>. Gelesen am
04.03.2016. Stand 2009.