

GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME

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



TÜV NORD Referenznr.: 2023-WND-RB-548-R0

Datum: 26.02.2024

Gegenstand der Prüfung	Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Dehmsee
Kunde	reVenton Asset Partners GmbH Theatinerstraße 14 80333 München

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	B.Sc. H. Ben Salah Sachverständiger	Hamburg, 26.02.2024
Geprüft durch	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 26.02.2024

WEA-Typ	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Vestas V172-7.2 MW	7,2	172,0	175,0

Herausgeber

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31 • 22525 Hamburg
Geschäftsführung: Silvio Konrad, Jan Radtke
Amtsgericht Hamburg • HRA 100227
USt.-IdNr.: DE 813992777 • Steuer-Nr.: 27/628/00023

Für weitere Auskünfte

M.Sc. N. Cromm



Urheberrechtshinweis

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

Änderungshistorie

Rev.	Datum	Änderung
0	26.02.2024	Erste Ausgabe

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 WEA-Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /5/.

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 6

2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort 7

3 Risikoanalyse..... 8

3.1 *Eisabwurf und Eisabfall* 8

3.1.1 Vereisungspotential..... 8

3.1.2 Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)..... 9

3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls 10

3.1.4 Gefährdungsradius..... 11

3.2 *Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 sowie auf dem Radweg durch Eisabfall*..... 13

3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls 13

3.2.2 Trefferhäufigkeiten 13

3.2.3 Individualrisiko..... 16

3.2.4 Gefährdung des Straßenverkehrs / Kollektivrisiko 18

4 Bewertungsmaßstab 19

4.1 *Individualrisiko*..... 19

4.2 *Kollektivrisiko* 20

4.3 *Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)*..... 21

5 Modell- und Datenunsicherheiten..... 22

6 Zusammenfassung und Risikobewertung 22

6.1 *Eisabwurf* 23

6.2 *Eisabfall* 23

6.2.1 *Wirtschaftswege*..... 23

6.2.2 *Autobahn A12* 23

6.2.3 *Radweg*..... 24

6.2.4 *Risikoreduzierende Maßnahme*..... 24

6.3 *Abschließende Risikobewertung* 24

7 Rechtsbelehrung 26

8 Formelzeichen und Abkürzungen..... 27

9 Literatur- und Quellenangaben..... 28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/.....	7
Abbildung 2:	Fallweiten bei 19,2 m/s Windgeschwindigkeit.	11
Abbildung 3:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 19,2$ m/s).	12
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	14
Abbildung 5:	Trefferhäufigkeiten [$1/m^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	15
Abbildung 6:	F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /30/.....	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Idealisierte Eisobjekte.....	11
Tabelle 2:	Ermittelte maximale Fallweiten.	11
Tabelle 3:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 5.....	15
Tabelle 4:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.....	17
Tabelle 5:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall.	18
Tabelle 6:	Trefferhäufigkeit pro Jahr, Kollektivrisiko bei Eisabfall.	18

1 Aufgabenstellung

Am Standort Dehmsee in Brandenburg plant die reVenton Asset Partners GmbH die Errichtung von elf Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V172-7.2 MW mit 175,0 m Nabenhöhe (NH) und 172,0 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Autobahn A12 sowie ein Radweg.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /37/ §5 Abs. 1 Nr. 1 sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Eisobjekte sind im Sinne des BImSchG als „sonstige Gefahr“ zu betrachten (siehe auch /38/), 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 Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen /39/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /39/ 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 reVenton Asset Partners GmbH mit Schreiben vom 30.09.2023 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 nahegelegenen Autobahn A12 sowie von Personen auf dem Radweg durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA. Die Stellungnahme beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

1. Darstellung des geplanten Projekts mit Angaben zu den Eigenschaften der geplanten WEA und dem Standort.
2. Ermittlung und Darstellung von Kenngrößen zur Risikobewertung.
3. Qualitative Prüfung des Konzepts der Eiserkennung der WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte bei den WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW am WEA-Standort Dehmsee 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 A12 sowie von Personen auf dem Radweg durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt. Zusätzlich wird die forstwirtschaftliche 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 basieren auf den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen /41/, /42/.

2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

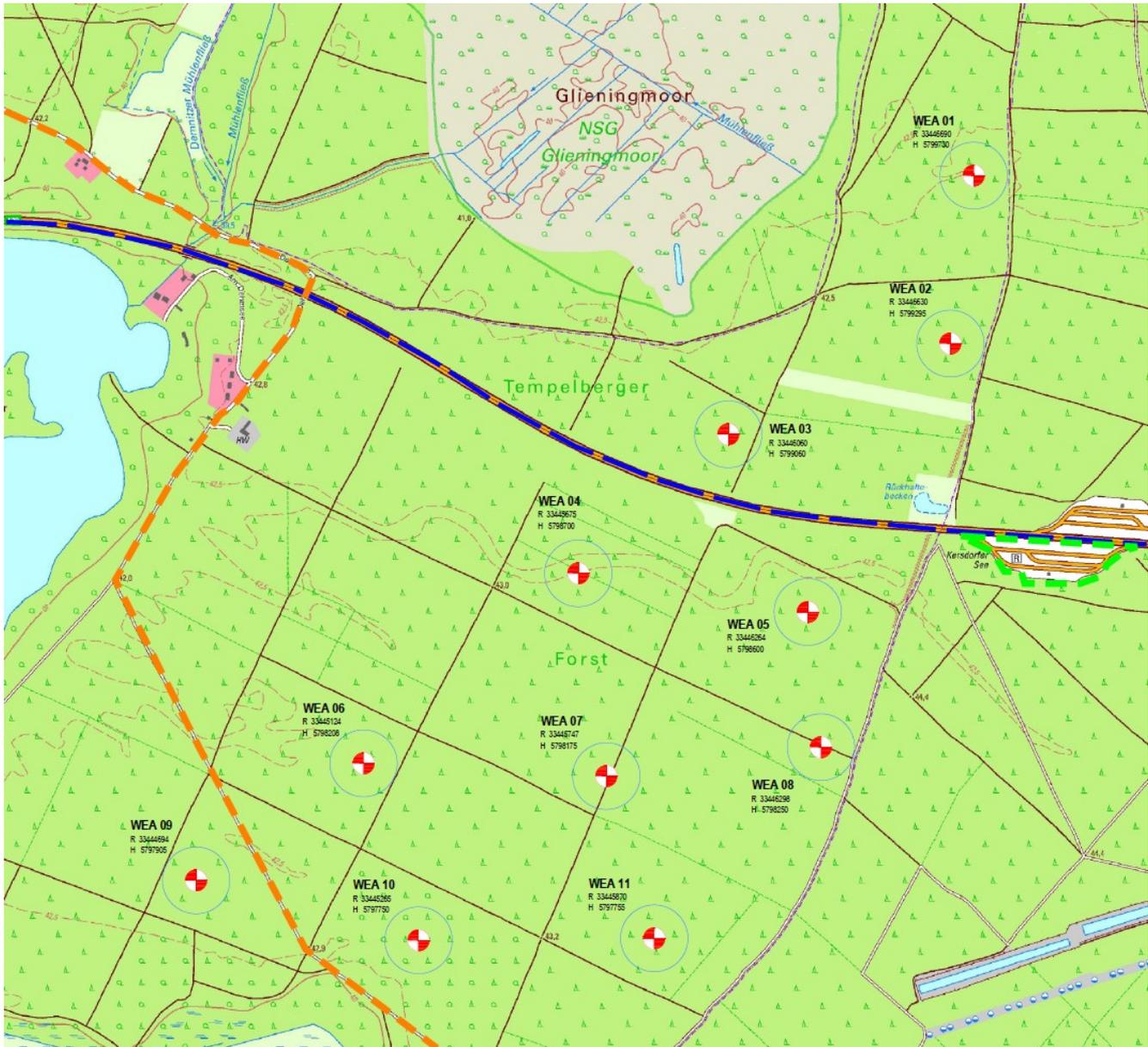


Abbildung 1: Lageplan /2/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Dehmsee ist flächendeckend bewaldet.

Durch den geplanten Windpark verläuft die Autobahn A12 von Westen nach Osten (siehe Abbildung 1, blau gestrichelte Linie). Östlich des geplanten Windparks befindet sich ein zur Autobahn A12 gehörender Rastplatz (siehe Abbildung 1, grün gestrichelte Linie). Des Weiteren verläuft von Süden in Richtung Nordwesten des geplanten Windparks ein Radweg (siehe Abbildung 1, orange gestrichelte Linie).

Der kürzeste Abstand der WEA 05 (WEA-Mittelpunkt) zur Autobahn A12 beträgt ca. 225 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 Fahrerin oder des Fahrers zu Unfällen führen. So stellen beispielsweise herabfallende Eisplatten von LKW mit Planenaufbau für Verkehrsteilnehmer:innen eine nicht zu vernachlässigende Gefahr dar. Unfälle durch herabfallende Eisplatten von LKW mit Personen- und Sachschäden werden im Winter regelmäßig gemeldet. Das Schadenspotential durch Eisabwurf oder Eisabfall von WEA ist vergleichbar mit dem von Eisplatten, welche sich von LKW mit Planenaufbau lösen können.

Grundlegend muss bei der Bewertung von vereisten WEA zwischen den Gefährdungen durch Eisabwurf und Eisabfall unterschieden werden. Der Eisabwurf ist das Abwerfen eines Eisobjektes während des Betriebes der WEA, das Eisobjekt wird dabei durch die drehende Rotorbewegung beschleunigt. Der Eisabfall ist das Abfallen eines Eisobjektes bei abgeschalteter WEA (Trudelbetrieb), hierbei wird das Eisobjekt im Fallen durch den Wind abgetrieben. Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern einer WEA ist zunächst zu prüfen, ob die WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügt. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Drehung des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden.

Für die standortbezogene Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall wird im Rahmen der Risikoanalyse das Eiserkennungssystem zur Verhinderung des Eisabwurfs dargestellt. Darauffolgend wird abhängig von der Bewertung des Eiserkennungssystems entweder die Gefährdung durch Eisabfall oder durch Eisabwurf ermittelt. Die Ergebnisse werden in der Risikobewertung (siehe Kapitel 6) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

3.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind außerdem die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemein gültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /22/, /23/, /24/.

Aufgrund des Tragflächenprinzips von WEA-Rotorblättern sinkt der Luftdruck infolge der Beschleunigung der Luft an der Hinterseite der Rotorblätter (Bernoulli-Effekt). Durch den plötzlichen Druckabfall kommt es zu einer Verringerung der Lufttemperatur. Dieser Effekt kann die Vereisung der Rotorblätter bei bestimmten Wetterlagen verstärken. Während Eisablagerungen bei entsprechender Schichtstärke zu einer Gefährdung führen können, stellen Reif- und Schneeablagerungen für die Umgebung keine Gefahr dar. Eisabfall von Rotorblättern tritt nach jeder Vereisungswetterlage mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich dann nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie z.B. Brücken oder Strommasten.

Für den Standort Dehmsee ist gemäß den Eiskarten Europas /13/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /14/, /15/ sowie der Auswertung des WIce Atlas für Deutschland durch das

VTT Technical Research Centre /16/ im Mittel mit ca. elf möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungsereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Hierzu nutzt TÜV NORD die Erkenntnisse zweier Studien, in denen beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte von WEA statistisch erfasst wurden (am Standort Gütsch in der Schweiz an einer WEA mit 22,0 m Rotorradius und an drei Standorten in Schweden an WEA mit 45,0 m Rotorradius) /20/, /21/. Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung einer Dunkelziffer an nicht erfassten Eisobjekten auf den geplanten WEA-Typ übertragen. Auf Basis des in /41/ dargestellten Ansatzes wird die Anzahl der beobachteten Eisobjekte auf größere Rotorradien hochskaliert. Daraus ergeben sich für die WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW 136 Eisobjekte pro Vereisungsereignis.

3.1.2 Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)

Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern der WEA ist zunächst zu prüfen, ob die geplanten WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügen. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von den abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen. 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 /39/.

Für die Eiserkennung ist das Eiserkennungssystem Vestas Ice Detection (VID; BLADEcontrol) geplant /4/, /7/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht beim geplanten VID (BLADEcontrol) auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /7/, /10/. Gemäß /10/ überschreitet die Empfindlichkeit das notwendige Maß, sodass eine Gefährdung der Umgebung durch Eisabwurf im laufenden Betrieb nicht anzunehmen ist. Ein Eisansatz wird erkannt, bevor dieser eine kritische Masse erreicht /10/.

Dadurch, dass VID (BLADEcontrol) auch bei Stillstand der WEA das Eis direkt an den Rotorblättern detektiert, kann die WEA bei Eisansatz nicht nur automatisch abgeschaltet werden, es wird auch die Eisfreiheit der Rotorblätter zeitnah gemessen /10/, /11/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /11/.

BLADEcontrol wurde nach DNV-SE-0439 „Zertifizierung der Zustandsüberwachung“ /8/ zertifiziert /9/. Mit /10/ wurde für die Eiserkennung mittels BLADEcontrol bestätigt, dass das System dem aktuellen Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /11/ wurde die Integration der Eiserkennung mittels BLADEcontrol in die Steuerung von Vestas-WEA in Hinblick auf eine zuverlässige Eiserkennung geprüft. Die Prüfung hat ergeben, dass die WEA bei Eisansatz sicher abgeschaltet werden und die Integration der Eiserkennung in die WEA-Steuerung dem aktuellen Stand der Technik entspricht /11/. Gemäß /10/ werden die behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei einer Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb als „sonstige Gefahr“ im Sinne des § 5 BImSchG erfüllt. Das vorgesehene System ist gemäß /10/ und /11/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

Ein Wegschleudern des Eises von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) ist aufgrund des geplanten Systems zur Eiserkennung für den Standort Dehmsee nicht anzunehmen. Im Folgenden wird die darüber hinaus bestehende Gefährdung durch Eisabfall betrachtet.

3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

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

- WEA-Typ: Vestas V172-7.2 MW mit 175,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,7 U/min) 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 die gesamte Flugbahn 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 /12/, /13/, /18/. Zudem hat sich in Feldstudien /18/ 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 /18/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Form	mittlere Fläche [m²]	mittlerer c_w -Wert [-]
1	1,0	700	Würfel	0,013	1,11
2	1,0	700	Quader	0,015	1,14
3	1,0	700	Quader	0,019	1,17
4	1,0	700	Platte	0,026	1,23
5	1,0	700	Platte	0,035	1,31

Tabelle 1: Idealisierte Eisobjekte.

3.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von 261 m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 19,2 m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /3/) auf Basis der in Tabelle 1 angegebenen Eisobjekte die maximale Fallweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 2 und die entsprechenden Fallkurven in Abbildung 2 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
19,2	147,8	163,2	185,1	227,3	272,9

Tabelle 2: Ermittelte maximale Fallweiten.

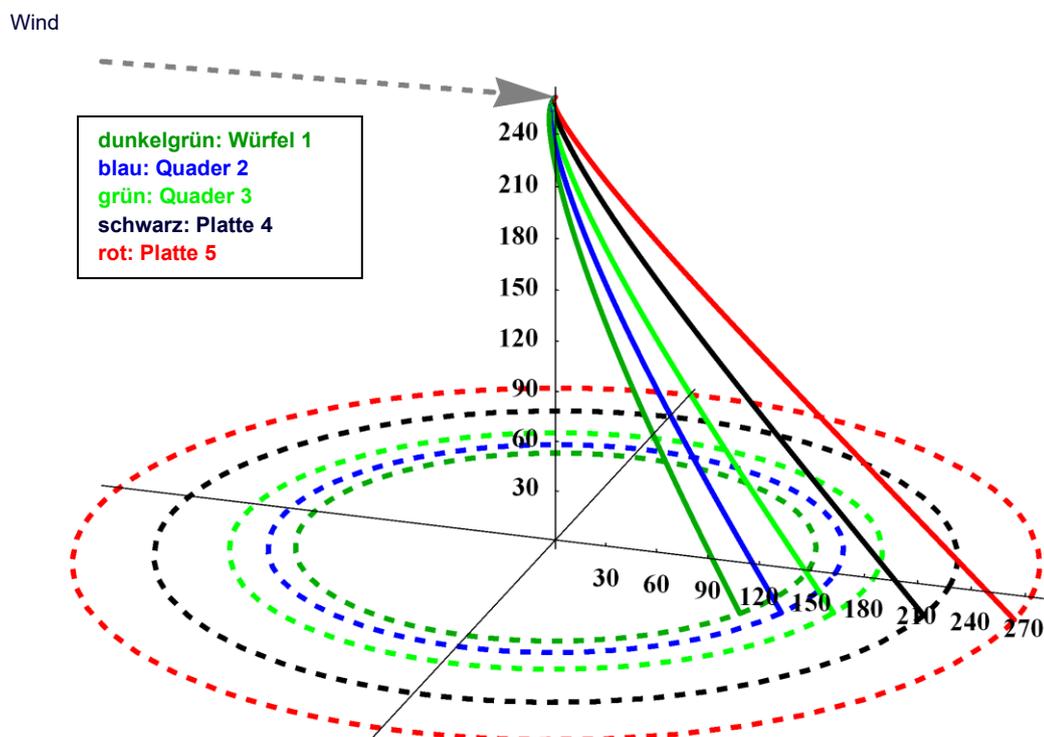


Abbildung 2: Fallweiten bei 19,2 m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Tabelle 2 (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 keine Abschnitte des Autobahnparkplatzes durch die Gefährdungsradien der geplanten WEA überdeckt werden. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass Teile der Gefährdungsradien der geplanten WEA 09 und WEA 10 Abschnitte des Radwegs überdecken und dass Teile der Gefährdungsradien der WEA 03 und WEA 05 Abschnitte der Autobahn A12 überdecken.

Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 sowie dem Radweg durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse auf Basis einer Simulation des Eisabfalls für die WEA durchgeführt (siehe Kapitel 3.2).

Zusätzlich ist zu erkennen, dass Teile der Gefährdungsradien der geplanten WEA Abschnitte der umliegenden Wirtschaftswege überdecken. Für die hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /5/, wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb der ermittelten Gefährdungsradien qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).



Abbildung 3: Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 19,2 \text{ m/s}$).

3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 sowie auf dem Radweg durch Eisabfall

3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

Die Berechnung der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgt ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelnbetrieb). 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 pro WEA 1.000.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V172-7.2 MW mit 175,0 m NH und 172,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelnbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,7 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 /17/ ist eine Eisbildung am Ende des Rotorblattes ca. dreimal häufiger zu beobachten als am Ansatz des Rotorblattes.
- Lageparameter der Rotorblätter:
Der Rotor kann sich im abgeschalteten Modus frei bewegen (Trudeln orthogonal zur Windrichtung möglich). Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationsebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall ($0^\circ, 360^\circ$) gleichverteilt.

3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.496 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (elf Vereisungstage pro Jahr mit je 136 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 1.000.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen von der jeweiligen 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 3 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m ²]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m ²)]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 1,5E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,5E-02 bis 1,5E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,5E-03 bis 1,5E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,5E-04 bis 1,5E-03
5	Farblos	1,0E-08 bis 1,0E-07	1,5E-05 bis 1,5E-04
6*	Farblos	kleiner 1,0E-08	kleiner 1,5E-05

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall),
*alles außerhalb der Zone 5.

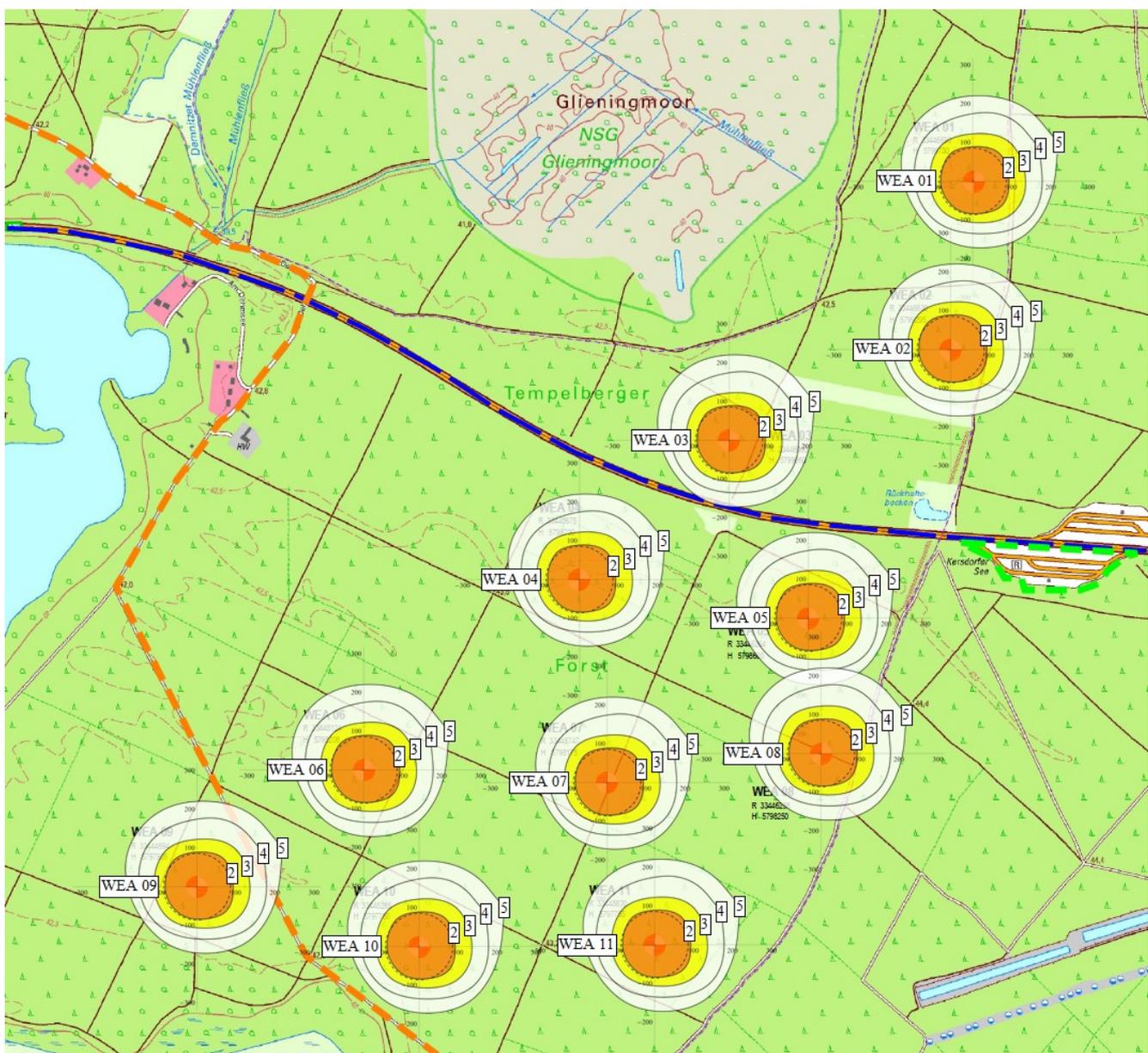


Abbildung 5: Trefferhäufigkeiten [1/m²] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 5 zeigen, dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA 09 Abschnitte des Radwegs überdecken. Darüber hinaus ist in der Abbildung 5 zu erkennen, dass Abschnitte der Autobahn A12 von den Gefährdungsbereichen durch Eisabfall der geplanten WEA 03 und WEA 05 tangiert werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.2.4).

3.2.3 Individualrisiko

Auf Basis der Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund Eisabfalls von der geplanten WEA 03 und WEA 05 zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Autobahn A12 eine Geschwindigkeit von 80 km/h angesetzt.

Zusätzlich wird die Gefährdung von Radfahrer:innen auf dem Radweg bestimmt. Zur Bewertung des Schadensausmaßes (Personenschaden) werden im Folgenden Probit-Beziehungen herangezogen (siehe z.B. /31/, /34/). Auf Basis einer Probit-Beziehung lässt sich das Schadensausmaß anhand einer Schadenswahrscheinlichkeit ausdrücken. In /34/ sind konkrete Probit-Beziehungen zur Bewertung einer Schädelbasisfraktur angegeben, es lässt sich eine Aussage dahingehend treffen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Kopftreffer einen tödlichen Unfall zur Folge hat. In Abhängigkeit der Masse m [kg] und der Aufprallgeschwindigkeit v [m/s] (z. B. eines Eisobjekts) werden die folgenden Probit-Beziehungen verwendet:

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

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

$$P_S = \phi(y(m, v) - 5) \quad (\text{siehe /31/, /34/}).$$

Die Verteilung der Eisgewichte orientiert sich an den Erkenntnissen aus dem Schweizer Forschungsprojekt „Alpine Test Site Gütisch“ /18/, /19/, /20/. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2 kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen.

Ein Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des betrachtenden Fahrzeugs bzw. der zu betrachtenden Person übereinstimmen.

Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

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

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

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^2 im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche:

- Für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird konservativ als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2 m² 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.
- Für die zu berücksichtigende Trefferfläche von Radfahrer:innen auf dem Radweg wird auf Basis der Schadensbeurteilung konservativ 0,1 m² für einen potenziell lebensbedrohlichen Treffer einer exponierten Person angesetzt.

P_{VA} : Wahrscheinlichkeit, an einem Vereisungstag anwesend zu sein:

- PKW-Fahrer:in auf der Autobahn A12, $P_{VA} = 2 \cdot (225/365)$ (Annahme: Berufspendler:in). Nutzung an 225 Tagen im Jahr pro Person, z.B. Berufspendler:in, welcher an 225 Tagen pro Jahr die Straße passiert. Zusätzlich werden zwei tägliche Fahrten durch den betroffenen Bereich angenommen (Hin- und Rückweg).
- Personen auf dem Radweg, $P_{VA} = 2 \cdot (52/365)$ (Annahme: Radfahrer:innen). Nutzung an 52 Tagen im Jahr (Einmal pro Woche) pro Person. Zusätzlich werden zwei tägliche Fahrten durch den betroffenen Bereich angenommen (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 Straßen- bzw. Wegeabschnitts l_j), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

- Geschwindigkeit PKW 80 km/h
- Geschwindigkeit Radfahrer:in 10 km/h

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr (Individualrisiko).

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
03	Autobahn A12	6,4E-09
05		1,6E-09
Gesamt		8,0E-09
09	Radweg	7,7E-09

Tabelle 4: Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 8,0E-09 Treffer/a im Mittel ca. alle 125 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 des Kollektivrisikos wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.2.3), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Autobahn A12 und dem Radweg 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 m² im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

h_{aVT} : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Autobahn A12 werden auf Basis der Angaben aus /5/ 35.579 Fahrzeuge pro Tag angesetzt. Auf dem Radweg werden 50 Personen pro Tag angesetzt.

A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche:

- Für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird konservativ als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2 m² angesetzt.
- Für die zu berücksichtigende Trefferfläche von Radfahrer:innen auf dem Radweg wird auf Basis der Schadensbeurteilung konservativ 0,1 m² für einen potenziell lebensbedrohlichen Treffer einer exponierten Person angesetzt.

P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der verkehrsteilnehmenden Person v_F , Länge des Straßen- bzw. Wegeabschnitts l_j), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

- Geschwindigkeit PKW 80 km/h
- Geschwindigkeit Radfahrer:in 10 km/h

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich für die Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Autobahn A12 und für das Kollektivrisiko von Personen auf dem Radweg die in Tabelle 5 und Tabelle 6 aufgeführten Trefferhäufigkeiten.

WEA	Bereich	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(m*a)]
03	Autobahn A12	2,9E-06
05		2,8E-07

Tabelle 5: Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall.

WEA	Bereich	Kollektivrisiko [Treffer/a]
09	Radweg	1,4E-06

Tabelle 6: Trefferhäufigkeit pro Jahr, Kollektivrisiko bei Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von 2,9E-06 Treffer/(m*a) im Mittel ca. alle 344 Tsd. 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) /25/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /26/.
- Risk Criteria in EU /29/.
- Auswertung des VdTÜV /31/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /41/.

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) /25/).

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 4.1 und für das Kollektivrisiko im Kapitel 4.2 hergeleitet. Für die Bewertung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 wird neben dem Individualrisiko die Gefährdung im Straßenverkehr als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen /27/ beurteilt (siehe Kapitel 4.3).

4.1 Individualrisiko

MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /25/ 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 /25/. Die in /25/ getätigten Angaben decken sich mit Erhebungen der GBE /26/. 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 /26/ 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 in Kapitel 4 aufgeführten Quellen zur Ermittlung eines Risikoakzeptanzkriteriums verglichen, so zeigt sich, dass die Risikoakzeptanzkriterien in guter Übereinstimmung zueinander in einem Bereich von $1,0E-06$ bis $1,0E-05$ liegen. Zusammenfassend lässt sich für das Individualrisiko (lebensbedrohlicher Unfall/Jahr) folgendes feststellen:

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

Ein ermitteltes Individualrisiko unterhalb von $1,0E-06$ pro Jahr wird als akzeptabel bewertet. Liegt das ermittelte Individualrisiko in einem Bereich 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) /29/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko oberhalb von $1,0E-05$ pro Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Zur Ermittlung des gesamten Individualrisikos auf der Autobahn A12 am Standort Dehmsee sind die einzelnen Individualrisiken aller WEA zu addieren.

4.2 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 6 dargestellte F-N-Diagramm erfolgen. Im F-N-Diagramm wird die Anzahl der Todesfälle je Ereignis (N) mit der Eintrittshäufigkeit (F) kombiniert. Für Eisabfall kann N gleich eins gesetzt werden. 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.

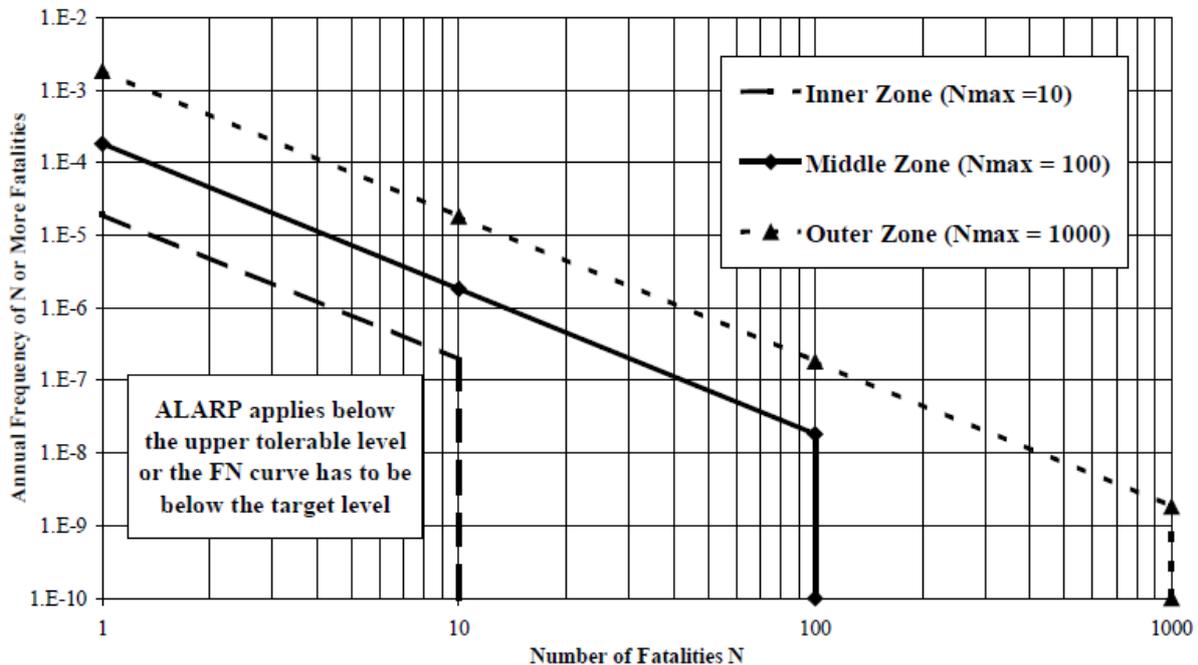


Abbildung 6: F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /29/.

Für die Ermittlung eines Bewertungsmaßstabes für das Kollektivrisiko von Personen, welche sich ungeschützt im Umkreis der WEA aufhalten, wurden die im Kapitel 4 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 Jahr.
- Der obere Grenzwert des Kollektivrisikos liegt in einer Größenordnung von 1,0E-03 pro Jahr.

Ein ermitteltes Kollektivrisiko unterhalb von 1,0E-05 pro Jahr wird als akzeptabel bewertet. Liegt das ermittelte Kollektivrisiko in einem Bereich zwischen 1,0E-05 pro Jahr und 1,0E-03 pro Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /29/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Kollektivrisiko oberhalb von 1,0E-03 pro Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

4.3 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Beurteilung der Gefährdung auf der Autobahn A12 durch die geplanten WEA am WEA-Standort Dehmsee wird das allgemein vorliegende Risiko im Straßenverkehr betrachtet. Diesbezüglich ist in Anlehnung an die Straßenverkehrsordnung (StVO) /28/ der Bundesrepublik Deutschland die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten /28/ 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 /27/. 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 /25/). In Anlehnung an die Vorgaben der StVO /28/ 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 /27/. Für die Herleitung eines Risikogrenzwertes werden die Statistiken auf höherrangigen Straßen (Kreisstraßen, Landes- bzw. Staatsstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen) außerhalb geschlossener Ortschaften berücksichtigt. Für die letzten zehn Jahre ergibt sich hierfür im Mittel eine Wahrscheinlichkeit eines schweren Verkehrsunfalls mit Personenschäden von $2,8E-01$ pro km und Jahr. Dies entspricht etwa einem schweren Verkehrsunfall mit tödlichem Ausgang bzw. schwerverletzten Personen alle 4 Jahre pro Kilometer Straßenabschnitt.

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

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /29/ leitet sich daraus der folgende Risikogrenzwertbereich für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs ab:

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

Bezogen auf die am Standort Dehmsee zu betrachtenden Straßenabschnitte bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb von $2,8E-06$ pro Meter und Jahr als akzeptabel bewertet wird. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit in einem Bereich zwischen $2,8E-06$ pro Meter und Jahr und $2,8E-05$ pro Meter und Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /29/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Eine Unfallhäufigkeit oberhalb von $2,8E-05$ pro Meter und Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

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

5 Modell- und Datenunsicherheiten

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

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

6 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Dehmsee in Brandenburg plant die reVenton Asset Partners GmbH die Errichtung von elf WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW mit 175,0 m NH und 172,0 m D. In der Nähe der geplanten WEA verläuft die Autobahn A12 sowie ein Radweg.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 sowie von Personen auf dem Radweg durch Eisabwurf/Eisabfall von den geplanten WEA vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

6.1 Eisabwurf

Auf Basis der TÜV NORD zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 3.1.2) von drehenden Rotoren kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachteten WEA nicht anzunehmen ist. Mit der Prüfung in /10/ und /11/ wurde für die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Eiserkennung wie in /10/ und /11/ beschrieben in den geplanten WEA-Typ Vestas V172-7.2 MW integriert wird.

6.2 Eisabfall

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass die forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile des Radwegs und der Autobahn A12 durch Eisabfall betroffen sind.

6.2.1 Wirtschaftswege

Für die forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Forstwege ist eine Gefährdung durch Eisabfall nicht zu unterstellen. Sollten hier 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. Die Fahrer:innen 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. TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt das Metaldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

6.2.2 Autobahn A12

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 Autobahn A12 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 Autobahn A12 mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass das Individualrisiko unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs liegt (siehe Kapitel 4.1). Des Weiteren zeigt sich, dass die Gefährdung durch Eisabfall von der geplanten WEA 03 im unteren Bereich des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs liegt und somit als tolerabel zu bewerten ist. Es sind jedoch im Sinne des ALARP-Prinzips risikomindernde Maßnahmen zu prüfen und wenn möglich umzusetzen (siehe Kapitel 6.2.4).

6.2.3 Radweg

Zur Ermittlung der Gefährdung von Personen auf dem Radweg durch Eisabfall von den geplanten WEA wurden das Individualrisiko sowie das Kollektivrisiko ermittelt (siehe Kapitel 3.2.3 und 3.2.4). Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass sowohl das Individualrisiko als auch das Kollektivrisiko unterhalb der hergeleiteten Risikogrenzwertbereiche liegen und somit als akzeptabel zu bewerten sind (siehe Kapitel 4.1 und 4.2).

6.2.4 Risikoreduzierende Maßnahme

Aufgrund der ermittelten Gefährdung des Straßenverkehrs durch die geplante WEA 03 wurden im Sinne des ALARP-Prinzips /29/ die mögliche risikomindernde Maßnahmen für den Eisabfall durch die reVenton Asset Partners GmbH mit /6/ geprüft und der Einsatz einer Parkposition bei Eisansatz als umsetzbar bewertet. Wurde durch das Eiserkennungssystem Eisansatz an der geplanten WEA 03 erkannt, könnte der Rotor in eine Parkposition parallel zu der Autobahn A12 gefahren und dort fixiert werden. Hierbei sollte der Rotor in eine Position gefahren werden, mit welcher der größtmögliche Abstand zur Straße sichergestellt ist. Der Effekt der Parkposition bei der WEA 03 wurde im Rahmen einer Simulation untersucht. Im Rahmen der Simulation des Eisabfalls bei fester Parkposition wurde berücksichtigt, dass diese bis zu einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s angefahren wird und sich der Rotor bei Windgeschwindigkeiten oberhalb von 15 m/s in den Wind dreht /30/. Die Berechnungen des Risikos unter Berücksichtigung der Parkposition bei der WEA 03 ergeben eine erkennbare Risikoreduzierung. Für die WEA 03 ist der Einsatz der Parkposition bei Eisansatz somit eine effektive Maßnahme zur Risikoreduzierung und sollte angewendet werden.

Darüber hinaus empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /35/, /36/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /39/ geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /35/, /36/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /39/ regelmäßig aufzuzeigen. Für die Inbetriebnahme des Eiserkennungssystems sollte die Anlernphase berücksichtigt werden. Ist die Anlernphase nicht vor den winterlichen Vereisungsereignissen abgeschlossen, so sind geeignete Maßnahmen zur Vermeidung eines Eisabwurfs vorzusehen.
- Durch Hinweisschilder (mind. im Abstand der 1,1-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftswegen auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzer:innen der Wirtschaftswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm /41/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.

6.3 Abschließende Risikobewertung

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass in der Realität nicht jeder Treffer zu einem lebensbedrohlichen Unfall führen wird (dies betrifft die Geschwindigkeit und das Gewicht der Eisobjekte, die Trefferfläche sowie die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zum Zeitpunkt des Treffers des Eisobjekts),
- dass sich die abgeschalteten, vereisten WEA prinzipiell nicht von anderen Bauwerken mit Eisansatz unterscheiden,
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /5/ hauptsächlich 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 forstwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen erfolgt ,
- 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 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 Autobahn A12 sowie für Personen auf dem Radweg als tolerabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Brandenburg /39/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabfalls und Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von 1,5 x (Rotordurchmesser + Nabenhöhe)“

sowie in Anlehnung an

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

ist eine unzulässige Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A12 sowie von Personen auf dem Radweg und den umliegenden Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA am Standort Dehmsee nach Umsetzung der genannten und durch die reVenton Asset Partners GmbH als umsetzbar bewerteten 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 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 reVenton Asset Partners GmbH an seinen urheberrechtlich fähigen 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 reVenton Asset Partners GmbH 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 reVenton Asset Partners GmbH 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]
h	Stunde	
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
Kfz	Kraftfahrzeug	
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimale endogene Sterblichkeit	
min	Minute	
NH	Nabenhöhe	[m]
P _{Nenn}	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	
WEA	Windenergieanlage(n)	

9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ 4initia GmbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch 4initia GmbH mit E-Mail vom 27.11.2023.
- /2/ 4initia GmbH. Lageplan: Windpark Dehmsee, Stand: 02.02.2024. Übermittelt durch 4initia GmbH mit E-Mail vom 02.02.2024.
- /3/ 4initia GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten. Übermittelt durch 4initia GmbH mit E-Mail vom 29.11.2023 und 04.12.2023.
- /4/ 4initia GmbH. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch 4initia GmbH mit E-Mail vom 27.11.2023.
- /5/ 4initia GmbH. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch 4initia GmbH mit E-Mail vom 07.12.2023.
- /6/ 4initia GmbH. Prüfung möglicher risikomindernder Maßnahmen. Übermittelt durch 4initia GmbH. mit E-Mail vom 20.12.2023.
- /7/ Vestas Wind Systems A/S. Allgemeine Spezifikation Vestas Eiserkennungssystem (VID) V105 / V112 / V117 / V126 / V136 - 3.45 / 3.6 MW 50 / 60 Hz V117 / V136 / V150 – 4.0 / 4.2MW 50 / 60 Hz V150 5.6 / 6.0 MW 50 / 60 Hz V162 – 5.6 / 6.0 / 6.2 MW 50 / 60Hz V162 / V172 – 7.2 MW 50 / 60 Hz, Dokumentennr.: 0049-7921 V15, Stand: 13.10.2022.
- /8/ DNV GL AS. Service Specification DNV-SE-0439: Certification of condition monitoring. Oktober 2021.
- /9/ DNV Renewables Certification. Typenzertifikat: Rotorblatt-Überwachungssystem Vestas Ice Detector (VID). TC-DNV-SE-0439-09298-0, Stand: 20.10.2022, gültig bis: 19.10.2024.
- /10/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 8, Stand 24.11.2022.
- /11/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System – Integration des BLADEcontrol Ice Detector BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen, Report Nr.: 75172, Rev. 6 Stand: 18.10.2021.
- /12/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /13/ 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.
- /14/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1991-2020 (Rasterdaten). www.dwd.de.
- /15/ 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.
- /16/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /17/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /18/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /19/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /20/ 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.
- /21/ Lunden, J. ICETHROWER Mapping and tool for risk analysis. Pöyry, Schweden. Winterwind, Skelleftea, Schweden. 2017.

- /22/ Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE); DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019; Windenergieanlagen – Teil 1 Auslegungsanforderungen (IEC 6140-1:2019). Dezember 2019.
- /23/ VTT Technical Research Centre of Finland. State-of-the-art of wind energy in cold climates. VTT WORKING PAPERS 152. ISBN 978-951-38-7493-3. 2010.
- /24/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /25/ DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Oktober 2018.
- /26/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /27/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2023.
- /28/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Fassung vom 12.07.2021.
- /29/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /30/ Vestas Central Europe A/S. Spezifizierung von “Yaw into Fixed Position due to Ice” (Windnachführung in arretierte Position aufgrund von Eis), Dokument-Nr. 0039-9510 V02, Stand 24.04.2019.
- /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/ Green Book. Methods for the determination of possible damage – first edition. Voorburg 1989.
- /35/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /36/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /37/ BImSchG. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 26.07.2023.
- /38/ 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.
- /39/ Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung (Land Brandenburg). Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Fassung März 2022.
- /40/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.
- /41/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.
- /42/ IEC TS 61400-31. Wind energy generation systems – Part 31: Siting risk assessment. November 2023.