

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

Erstellt im Auftrag für

enercity Windpark Beuren GmbH

Leer

Revision 1

Hamburg, 10.11.2020

Revision	Datum	Änderung
0	15.08.2014	Erste Ausgabe
1	10.11.2020	Änderung des Windpark-Layouts und des WEA-Typs

Gegenstand: Risikobeurteilung am Windenergieanlagen-Standort
Urschmitt

Referenz-Nr.: 2020-WND-RB-331a-R1

Auftraggeber: enercity Windpark Beuren GmbH
Nessestraße 24
26789 Leer

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

WEA-Typ:	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Vestas V117	3,45	117,0	116,5

Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:

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

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 10.11.2020
Geprüft durch	Dipl.-Ing. O. Raupach Sachverständiger	Hamburg, 10.11.2020

Für weitere Auskünfte:

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

Tel.: +49 40 8557 1754
Fax: +49 40 8557 2552
E-Mail: ncromm@tuev-nord.de

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Angaben zum Windenergieanlagen-Standort	8
3	Risikoanalyse	8
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i>	8
3.1.1	Vereisungspotential	9
3.1.2	Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)	11
3.1.3	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	12
3.1.4	Gefährdungsradius	13
3.2	<i>Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmern durch Eisabfall</i>	15
3.2.1	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	15
3.2.2	Trefferhäufigkeiten	16
3.2.3	Individualrisiko	19
3.2.4	Kollektivrisiko	20
4	Bewertungsmaßstab	21
4.1	<i>Individualrisiko</i>	22
4.2	<i>Kollektivrisiko</i>	23
5	Modell- und Datenunsicherheiten	24
6	Zusammenfassung und Risikobewertung	24
7	Rechtsbelehrung	28
8	Formelzeichen und Abkürzungen	29
9	Literatur- und Quellenangaben	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/.....	8
Abbildung 2:	Fallweiten bei 17,7m/s Windgeschwindigkeit.....	14
Abbildung 3:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 17,7\text{m/s}$).....	15
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.....	16
Abbildung 5:	Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.....	17
Abbildung 6:	Gefährdungszonen - Schadensbeurteilung: Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.....	18
Abbildung 7:	F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /132/.....	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.....	10
Tabelle 2:	Idealisierte Eisobjekte.....	13
Tabelle 3:	Ermittelte maximale Fallweiten.....	13
Tabelle 4:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.....	17
Tabelle 5:	Trefferhäufigkeit pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.....	20
Tabelle 6:	Trefferhäufigkeit pro Jahr, Kollektivrisiko bei Eisabfall.....	21

1 Aufgabenstellung

Am Standort Urschmitt in Rheinland-Pfalz plant der Auftraggeber, die enercity Windpark Beuren GmbH, die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V117 mit 116,5m Nabenhöhe (NH) und 117,0m Rotordurchmesser (D). Der Standort befindet sich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, welche von Wald umgeben sind. In der Nähe der geplanten WEA verläuft der Sommer Weg, der zum Forsthaus Sommet führt.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /27/ §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 /28/), 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 Rheinland Pfalz eingeführten Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen /25/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /25/ gelten Abstände größer als $1,5 \times (D + NH)$ im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen gemäß DIN 1055-5 /23/ als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich. Die erforderlichen Sicherheitsnachweise werden durch das Bundesland Rheinland-Pfalz in /26/ konkretisiert.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Mit dem Schreiben vom 21.10.2020 wurde TÜV NORD von der enercity Windpark Beuren GmbH mit der Revision der gutachtlichen Stellungnahme beauftragt. Mit der nun vorliegenden Revision 1 wurde die Änderung des Windpark-Layouts sowie des geplanten WEA-Typs im Rahmen der Risikobeurteilung berücksichtigt und die gutachtliche Stellungnahme aktualisiert. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf den umliegenden Verkehrswegen 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 Vestas V117.
3. Ermittlung der möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmern und Personen auf den umliegenden Verkehrswegen durch herabfallende Eisobjekte von den WEA am WEA-Standort Urschmitt. Die Berechnungen erfolgen nach Prüfung

des Konzepts zur Eiserkennung ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudetrieb). Es erfolgen Berechnungen des Gefährdungsbereichs durch herabfallende Eisobjekte sowie ggf. Berechnungen flächenbezogener Trefferhäufigkeiten.

4. Risikobewertung zur Einordnung der Ergebnisse (Gefährdung von Verkehrsteilnehmern und Personen auf den umliegenden Verkehrswegen). Diese erfolgt auf Basis der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitsschritte sowie auf Basis standortspezifischer Angaben. In Abhängigkeit der Ergebnisse der Risikobewertung werden Maßnahmen zur notwendigen Risikominderung genannt.

Eine weitere Analyse des möglichen Schadensverlaufs durch Eisabwurf/Eisabfall (z.B. Gebäudeschäden, Fahrzeugschäden, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe, Schadensbeurteilung, Untersuchung weiterer Schutzobjekte) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme. Die Risikobeurteilung erfolgt auf Grundlage der eingereichten Unterlagen. Es wurde ausschließlich die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern und Personen auf den umliegenden Verkehrswegen durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt. Mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der geplanten WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme. Für die WEA-Spezifikationen der geplanten WEA wurden die benannten Spezifikationen berücksichtigt (siehe Seite 2).

Die in dieser Stellungnahme verwendeten Randbedingungen und Rechnungen zum Eisabwurf und Eisabfall basieren auf den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen von Eisabwurf und Eisabfall von WEA /36/.

2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V117 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

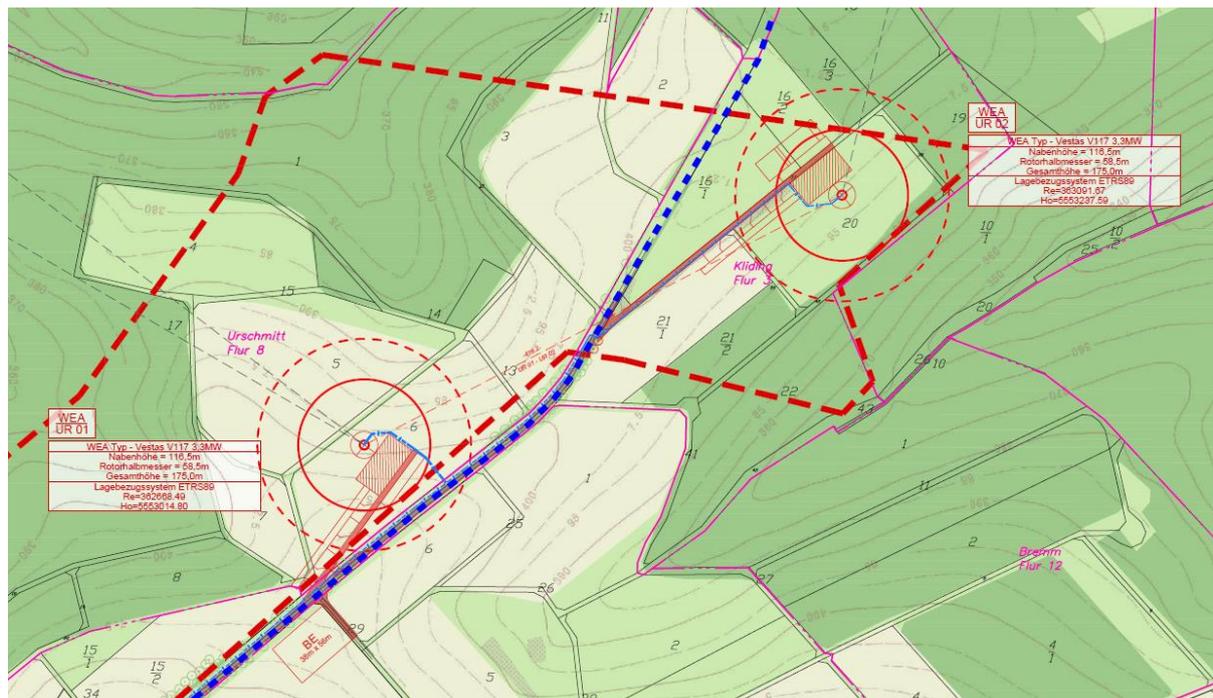


Abbildung 1: Lageplan /2/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Urschmitt ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt und flächendeckend bewaldet. Innerhalb des Windparks verläuft der Sommeter Weg (siehe Abbildung 1, blau markiert) zum Forsthaus Sommet. Der kürzeste Abstand der WEA UR 01 zum Sommeter Weg beträgt ca. 73m. Gemäß /5/ ist das Forsthaus derzeit nicht vermietet, es ist jedoch eine tage- oder wochenweise Vermietung an Jagdgäste geplant.

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 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. So stellen beispielsweise 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. Darauffolgend wird die Gefährdung durch Eisabfall ermittelt. Die Ergebnisse werden in der Risikobewertung (siehe Kapitel 6) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

3.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind außerdem die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemein gültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /20/, /21/, /22/.

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 Urschmitt ist gemäß den Eiskarten Europas /10/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /13/, /14/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /16/ im Mittel mit ca. 18 möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen. Dieser Wert deckt sich mit internen Untersuchungen von TÜV NORD zur Vereisungshäufigkeit /11/, /12/, welche auf Basis von Wetterstationen und Wetterbeobachtungen für ganz Deutschland durchgeführt wurden.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungsereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Im Rahmen des Schweizer Forschungsprojekts „Alpine Test Site Gütsch“ /17/, /18/, /19/ 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 /19/. Unter Berücksichtigung der in /18/ ausgewiesenen Häufigkeit der Vereisung für den Standort Gütsch mit 10 bis 30 Tagen pro Jahr lässt sich somit die Anzahl von Eisfragmenten pro Vereisung zu

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

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

Da die Studie „Alpine Test Site Gütsch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen. In Tabelle 1 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D ² [m ²]	Verhältnis	Eisobjekte/ Vereisung
ENERCON E-40/6.44	44,0	1.936	1,0	ca. 14
Vestas V117	117,0	13.689	7,1	ca. 99

Tabelle 1: Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.

3.1.2 Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)

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

Für die Eiserkennung ist das Eiserkennungssystem BLADEcontrol der Firma Weidmüller Monitoring Systems GmbH geplant /3/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht bei BLADEcontrol auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /6/. Gemäß /6/ 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 /6/.

Dadurch, dass BLADEcontrol auch bei Stillstand der WEA das Eis direkt an den Rotorblättern detektiert, kann die WEA bei Eisansatz nicht nur automatisch abgeschaltet werden, es wird auch die Eisfreiheit der Rotorblätter zeitnah gemessen /6/, /7/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /7/.

Das System wurde nach GL IV-4 „Guideline for the Certification of Condition Monitoring Systems for Wind Turbines“ zertifiziert /8/. Mit /6/ wurde für die Eiserkennung mittels BLADEcontrol bestätigt, dass das System dem Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /7/ 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 Stand der Technik entspricht /7/. Gemäß /7/ werden die behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb als „sonstige Gefahr“ im Sinne des § 5 BImSchG erfüllt. Das vorgesehene System ist gemäß /6/ und /7/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

Ein Wegschleudern des Eises von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) ist aufgrund der geplanten Systeme zur Eiserkennung für den Standort Urschmitt nicht anzunehmen. Im Folgenden wird die darüber hinaus bestehende Gefährdung des Eisabfalls betrachtet.

3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

Für die Berechnungen der Fallweiten werden die folgenden Rahmenbedingungen angenommen:

- WEA-Typ: Vestas V117 mit 116,5m NH und 117,0m D.
- WEA: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,0 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 /2/. 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 /9/, /10/, /17/. Zudem hat sich in Feldstudien /17/ 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 /17/ 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.

3.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 175m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 17,7m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /2/) auf Basis der in Tabelle 2 angegebenen Eisobjekte die maximale Fallweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 und die entsprechenden Fallkurven in Abbildung 2 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
17,7	77,1	87,8	102,6	130,8	160,9

Tabelle 3: Ermittelte maximale Fallweiten.

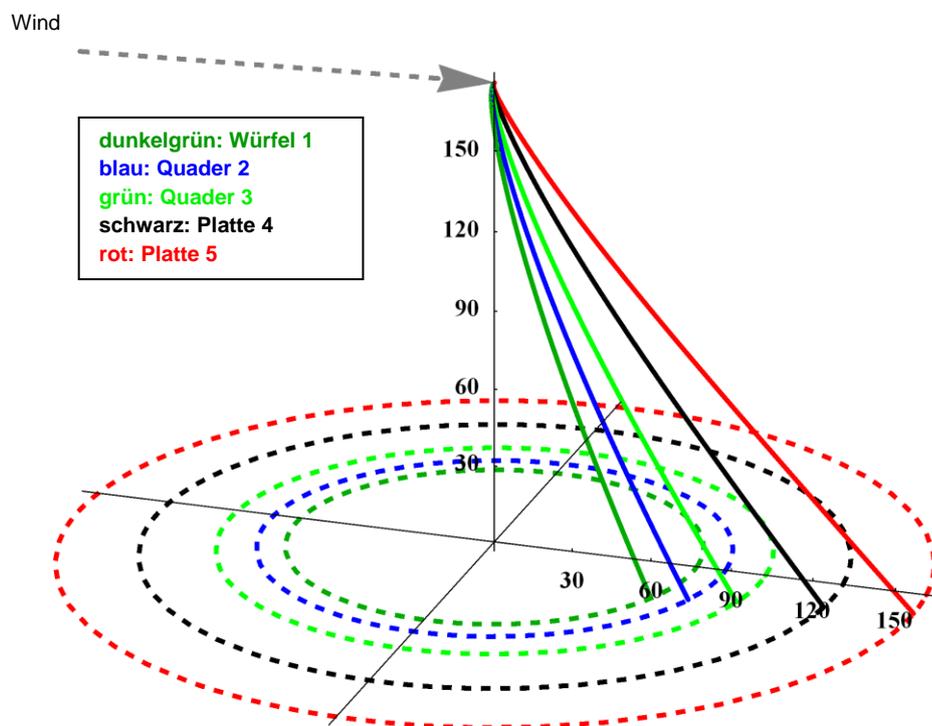


Abbildung 2: Fallweiten bei 17,7m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Spalte 6 der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Fallweite ist in der nachfolgenden Abbildung 3 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Teile der Wirtschaftswege sowie der Verbindungsstraße zum Forsthaus (Sommeter Weg) durch die Gefährdungsradien der geplanten WEA überdeckt werden. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf dem Sommeter Weg durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse und die Simulation des Eisabfalls für die geplanten WEA durchgeführt (siehe Kapitel 3.2). Hierfür wird eine Worst-Case-Betrachtung durchgeführt, bei der das Forsthaus 365 Tage im Jahr vermietet ist und der Sommeter Weg täglich von 10 Fahrzeugen genutzt wird. Für die hauptsächlich land- und forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /5/, für die im Winter außerhalb der Bewirtschaftungsperiode von einer unregelmäßigen Nutzung ausgegangen werden kann, wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des ermittelten Gefährdungsradius qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

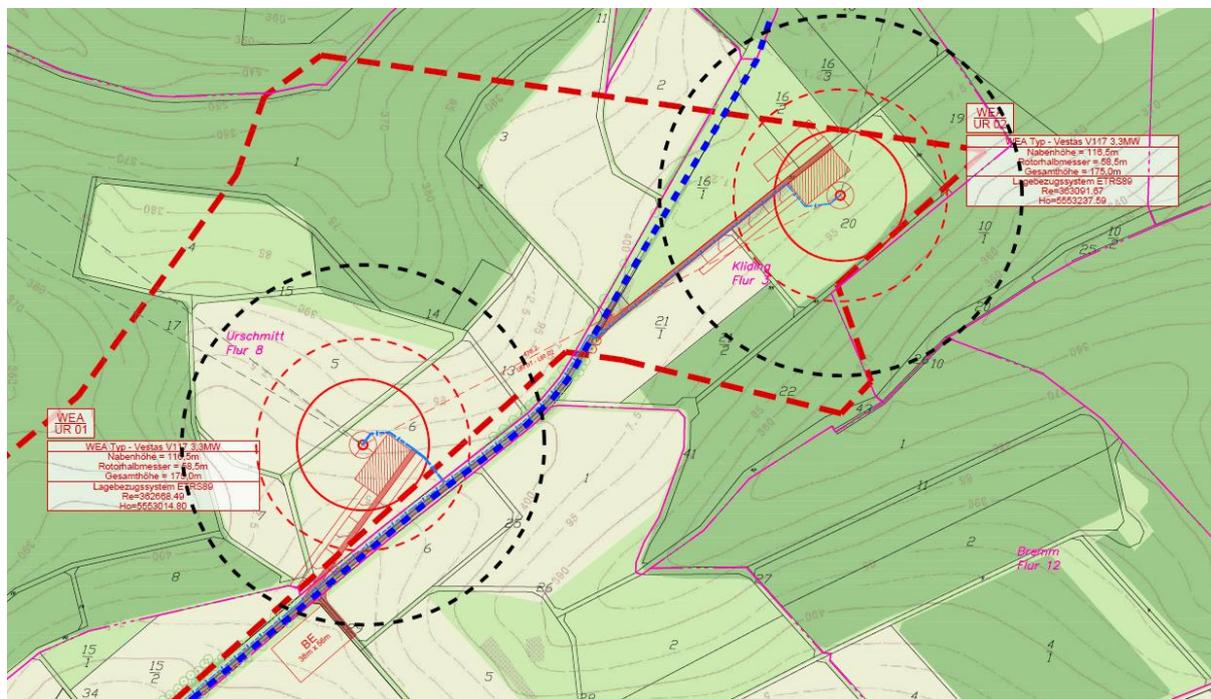


Abbildung 3: Gefährdungsradius – schwarz gestrichelt ($v = 17,7\text{m/s}$).

3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf dem Sommer Weg durch Eisabfall

3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

Die Berechnungen der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgen ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /33/, /34/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden etwa 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V117 mit 116,5m NH und 117,0m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 - 2,0 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes aus dem Windgutachten /2/ 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 /15/ ist eine Eisbildung am Ende des Rotorblattes ca. dreimal häufiger zu beobachten als am Ansatz des Rotorblattes.
- Lageparameter der Rotorblätter:
Der Rotor kann sich im abgeschalteten Modus frei bewegen (Trudeln orthogonal zur Windrichtung möglich). Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationsebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall (0°, 360°) gleichverteilt.

3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.782 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (18 Vereisungstage pro Jahr mit je 99,0 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen dargestellt.

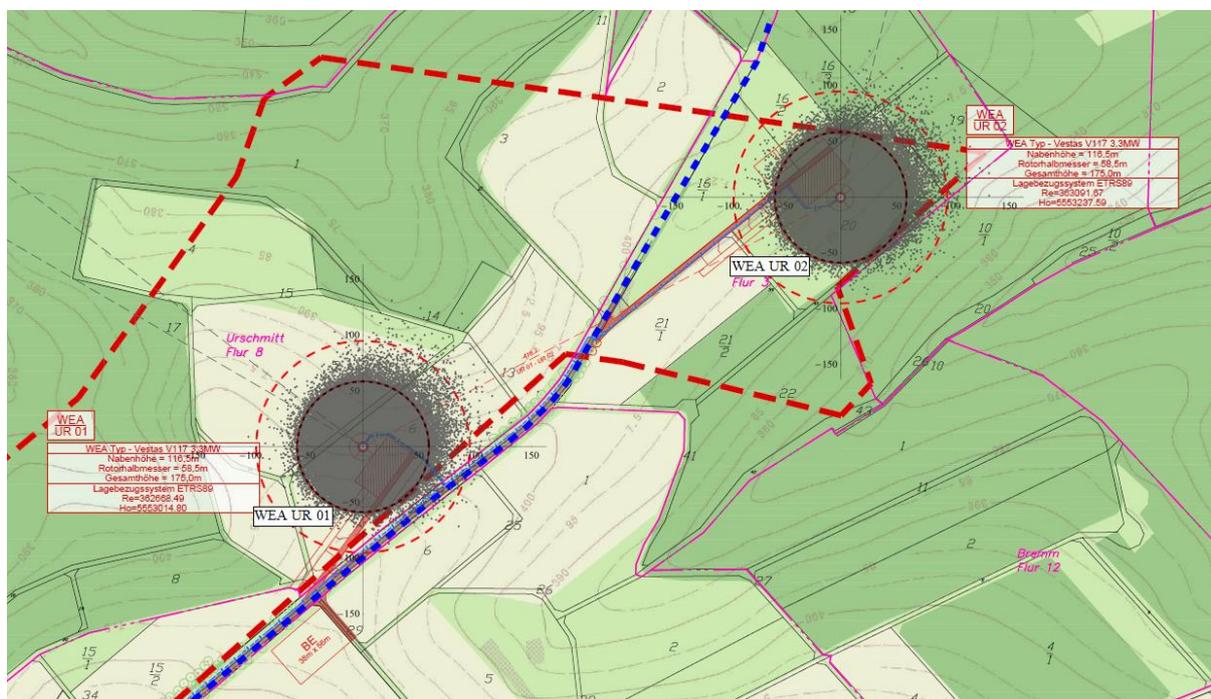


Abbildung 4: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 5 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro Quadratmeter und Eisabfall-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefähr-

dungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche sowie der möglichen Treffer durch Eisabfall pro Jahr und Quadratmeter sind in der Tabelle 4 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m ²]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m ²)]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 1,8E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,8E-02 bis 1,8E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,8E-03 bis 1,8E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,8E-04 bis 1,8E-03
5*	Farblos	kleiner 1,0E-07	kleiner 1,8E-04

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

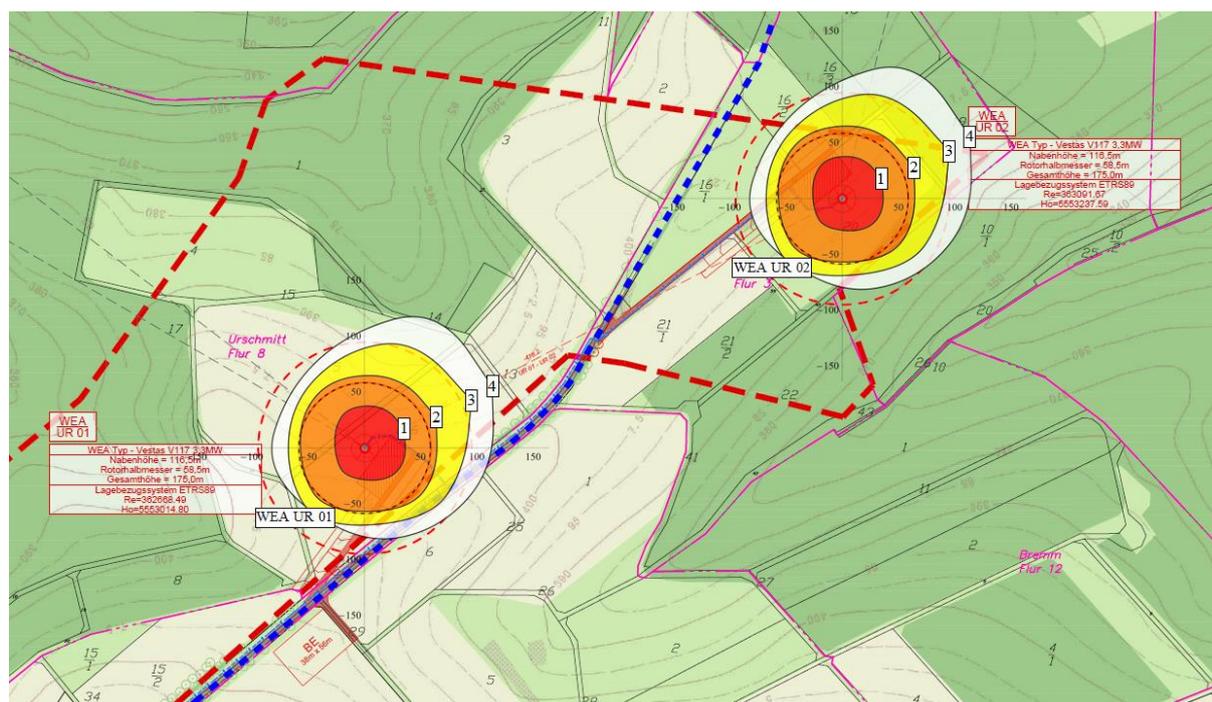


Abbildung 5: Trefferhäufigkeiten [1/m²] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Zur Bewertung des Schadensausmaßes (Personenschaden) werden im Folgenden Probit-Beziehungen herangezogen (siehe z.B. /32/, /35/). Auf Basis einer Probit-Beziehung lässt sich das Schadensausmaß anhand einer Schadenswahrscheinlichkeit ausdrücken. In /35/ 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

$$P_S = \Phi(y(m, v) - 5) \quad (\text{siehe /32/, /35/}).$$

Die Verteilung der Eisgewichte orientiert sich an den Erkenntnissen aus dem Schweizer Forschungsprojekt „Alpine Test Site Gütsch“ /17/, /18/, /19/. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen.

Im Folgenden werden auf Basis dieser Schadensbeurteilung die möglichen Treffer durch Eisobjekte dahingehend bewertet, inwieweit diese in Abhängigkeit ihrer kinetischen Energie einem lebensbedrohlichen Treffer entsprechen. In Abbildung 6 sind hierfür die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro m^2 und Eisabfall-Ereignis durch farblich abgestufte Gefährdungsbereichen dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereichen ist in Tabelle 4 beschrieben.

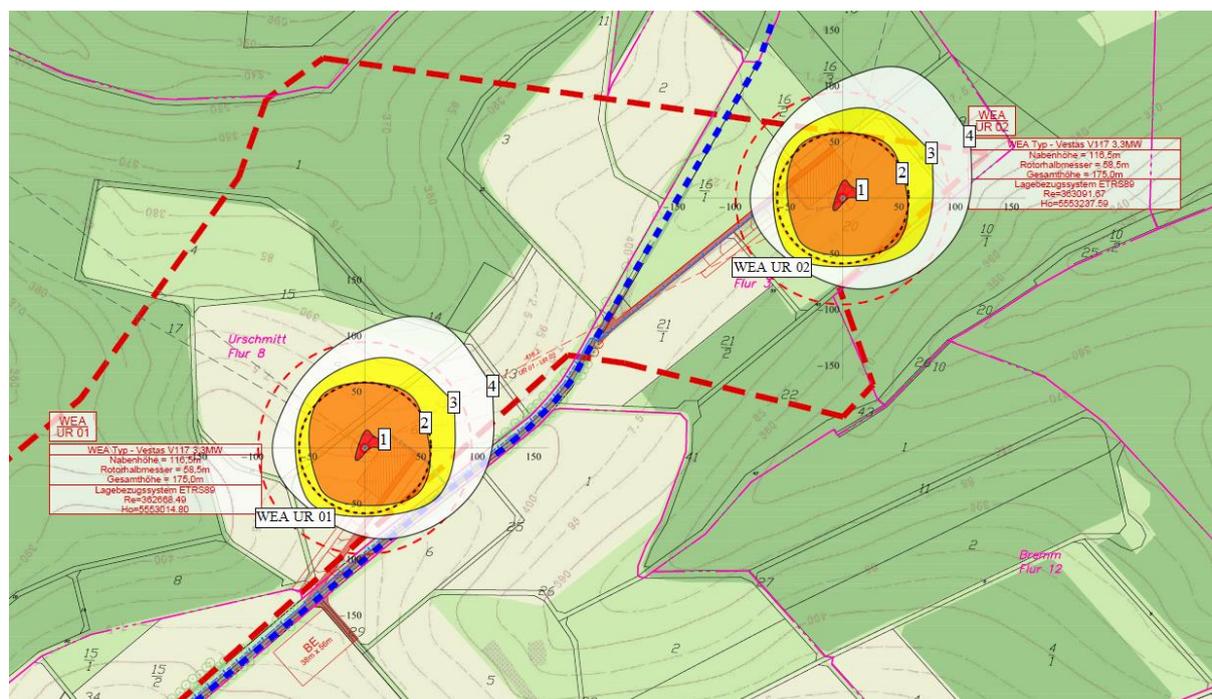


Abbildung 6: Gefährdungszonen - Schadensbeurteilung: Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 6 zeigen, dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA UR 01 Abschnitte des Sommer Wegs überdecken (siehe weitere Risikoanalyse Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.2.4).

3.2.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 5 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund Eisabfalls zu verunfallen, für den Sommer Weg ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf dem Sommer Weg eine Geschwindigkeit von 20km/h angesetzt.

Ein Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Eisobjektes mit der Zeit und dem Ort des zu betrachtenden Fahrzeugs übereinstimmen.

Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

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

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

H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).

H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

h_{Vj} : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 3.1.1).

h_{EV} : Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).

h_{TEj} : Häufigkeit der Treffer pro m^2 im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche der Person ($0,1m^2$)

P_{VA} : Wahrscheinlichkeit, an einem Vereisungstag anwesend zu sein, $P_{VA} = 365/365$: Nutzung an 365 Tagen im Jahr pro Person.

n_D : Anzahl der täglichen Fahrten durch den Bereich j, $n_D = 2$ (Hin- und Rückweg).

P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Verkehrsteilnehmers v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 5), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit und der relativ geringen Verkehrsdichte wird für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern konservativ die Trefferhäufigkeit der Schadensbeurteilung für ungeschützte Personen berücksichtigt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass unterstellt wird, dass die Scheibe direkt durchschlagen wird und keine Energie aufnimmt.

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

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
UR 01	Sommeter Weg	9,4E-08

Tabelle 5: Trefferhäufigkeit pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.

Bei einem Individualrisiko von 9,4E-08 Treffer/a erfolgt im Mittel ca. alle 10,6 Millionen Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.2.4 Kollektivrisiko

Für die Ermittlung des Kollektivrisikos wird, aufbauend auf den Randbedingungen für das Individualrisiko (siehe Kapitel 3.2.3), zusätzlich die Nutzungshäufigkeit der Wege pro möglichem Vereisungstag berücksichtigt. Ein Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Eisobjektes mit der Zeit und dem Ort der zu betrachtenden Person übereinstimmen. Daraus ergibt sich für die Ermittlung des Kollektivrisikos folgender mathematischer 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 Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).

h_{TEj} : Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

h_{aVT} : Verkehrsdichte: Im Rahmen der Worst-Case-Betrachtung wird ein Verkehrsaufkommen von zehn Fahrzeugen pro Tag angesetzt.

A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche der ungeschützten Person (0,1m²). Für die zu berücksichtigende Trefferfläche von PKW-Fahrern auf den Wegen wird auf Basis der Schadensbeurteilung (siehe Kapitel 3.2.2) konservativ 0,1m² für einen potentiell lebensbedrohlichen Treffer einer exponierten Person angesetzt.

P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Verkehrsteilnehmers v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 5), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit und der relativ geringen Verkehrsdichte wird für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern konservativ die Trefferhäufigkeit der Schadensbeurteilung für ungeschützte Personen berücksichtigt. Diese Annahme ist

insofern konservativ, als dass unterstellt wird, dass die Scheibe direkt durchschlagen wird und keine Energie aufnimmt.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich für den Sommer Weg die in Tabelle 6 aufgeführte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Kollektivrisiko).

WEA	Bereich	Kollektivrisiko [Treffer/a]
UR 01	Sommer Weg	4,7E-07

Tabelle 6: Trefferhäufigkeit pro Jahr, Kollektivrisiko bei Eisabfall.

Bei einem Kollektivrisiko von 4,7E-07 Treffer/a erfolgt im Mittel ca. alle 2,1 Millionen Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

4 Bewertungsmaßstab

Da es in Deutschland kein einheitliches Risikoakzeptanzkriterium gibt, werden für die vorliegende Fragestellung verschiedene Quellen zur Ermittlung eines Risikogrenzwertes herangezogen:

- Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /29/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /30/.
- Risk Criteria in EU /31/.
- Auswertung des VdTÜV /32/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /36/.

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) /29/).

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.

4.1 Individualrisiko

MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /29/ 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 /29/. Die in /29/ getätigten Angaben decken sich mit aktuellen Erhebungen der GBE /30/. 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 /30/ und der Bedingung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), lässt sich der folgende Risikogrenzwert ableiten:

- Risiko eines tödlichen Freizeitunfalls: $6,0E-06$ je Person und Jahr.

VdTÜV

Vom VdTÜV wurden in einer Auswertung /32/ die folgenden Risikogrenzwerte angegeben:

- Niederlande: $1,0E-05/a$ für bestehende Anlagen, $1,0E-06/a$ für geplante Anlagen.
- Deutschland, Empfehlung des VdTÜV: Solange keine offiziellen Werte für Deutschland festgelegt werden, schlagen die Verfasser vor, für das Individualrisiko den Wert für Neuanlagen in den Niederlanden mit $1,0E-06/a$ zu verwenden.

Werden die aufgeführten Quellen zur Ermittlung eines Risikoakzeptanzkriteriums verglichen, so zeigt sich, dass die Risikoakzeptanzkriterien in guter Übereinstimmung zueinander in einem Bereich von $1,0E-06$ bis $1,0E-05$ liegen. Zusammenfassend lässt sich für das Individualrisiko (lebensbedrohlicher Unfall/Jahr) folgendes feststellen:

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

Ein ermitteltes Individualrisiko unterhalb von $1,0E-06$ 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) /31/ 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.

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 7 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.

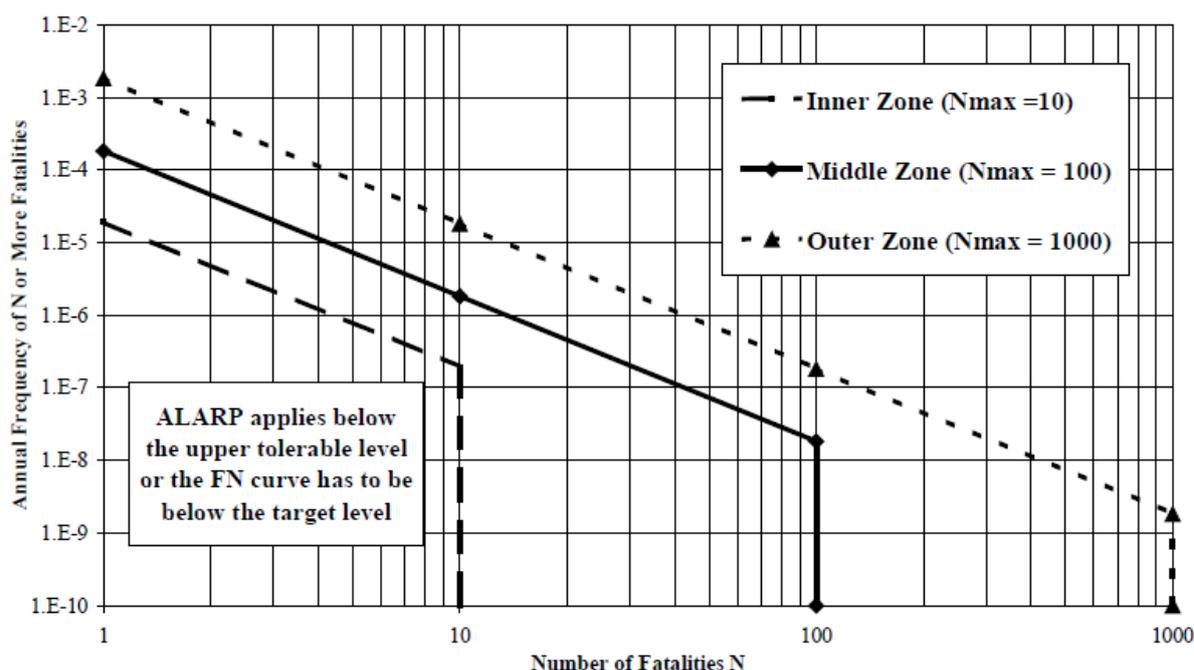


Abbildung 7: F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /31/.

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 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 /31/ 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.

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 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 Urschmitt in Rheinland-Pfalz plant der Auftraggeber, die enercity Windpark Beuren GmbH, die Errichtung von zwei WEA des Typs Vestas V117 mit 116,5m NH und 117,0m D. Der Standort befindet sich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, welche von einem Waldgebiet umgeben sind. In der Nähe der WEA verläuft der Sommeter Weg, der zum Forsthaus Sommet führt.

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

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

Auf Basis der TÜV NORD zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 3.1.2) von drehenden Rotoren kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachteten WEA nicht anzunehmen ist. Mit der Prüfung in /6/ und /7/ wurde für die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Eiserkennung wie in /6/ und /7/ beschrieben in den geplanten WEA-Typ Vestas V117 integriert wird.

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass der Sommerweg und die land- und forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA durch Eisabfall betroffen sind.

Für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege 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. TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt das Metaldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Für die Bewertung der Gefährdung im Straßenverkehr ist zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) und zum anderen das Gruppenrisiko (Kollektivrisiko) zu betrachten. Für den Sommerweg wurden die Gefährdungen für Verkehrsteilnehmer unter der Annahme einer täglichen Nutzung bestimmt (siehe Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.2.4).

Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf den untersuchten Straßenabschnitten mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich dass:

- das ermittelte Individualrisiko deutlich unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 4.1) liegt.
- das ermittelte Kollektivrisiko deutlich unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs liegt (siehe Kapitel 4.2).

Weitere risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 3.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 3.2 empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /24/, /25/ 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 /24/, /25/ 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 1,1-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den umliegenden Wirtschaftswegen sowie auf dem Sommer Weg auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzern der Verkehrswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.
- Anmieter des Forsthauses, welche den Sommer Weg im Winter regelmäßig nutzen, sollten über die Gefährdung durch Eisabfall unterrichtet werden. Zur Unterweisung gehören auch die Warnhinweise, welche eine Eisabfallgefahr anzeigen.

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass im Winter in den Wäldern am Standort grundsätzlich mit einem Risiko durch Eisabfall und brechenden Bäumen zu rechnen ist,
- 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 über die Bäume am Standort ein natürlicher Schutz gegenüber herabfallenden Eisobjekten von einer vereisten WEA besteht (Abschattung),
- dass das Forsthaus derzeit nicht vermietet ist /5/,
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /5/ hauptsächlich land- und forstwirtschaftlich genutzt werden und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher geringen Frequenz 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 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, als unkritisch zu betrachten.

Eine unzulässige Gefährdung eines Verkehrsteilnehmers auf dem Sommer Weg durch Eisabwurf/Eisabfall ist dann nicht anzunehmen.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Rheinland-Pfalz /25/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabfalls und Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von $1,5 \times$ (Rotor-durchmesser + Nabenhöhe)“

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /27/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine konkrete Gefährdung von Personen oder Verkehrsteilnehmern auf den umliegenden Wirtschaftswegen sowie auf dem zum Forsthaus führenden Sommer Weg durch die Errichtung der geplanten WEA am Standort Urschmitt durch Eisabwurf/Eisabfall nach Umsetzung der genannten Maßnahmen 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 vom Auftraggeber übermittelten Informationen 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 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	
D	Rotordurchmesser	[m]
GBE	Gesundheitsberichterstattung des Bundes	
h	Stunde	[h]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimale endogene Sterblichkeit	
min	Minute	[min]
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/ enercity Windpark Beuren GmbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch enercity Windpark Beuren GmbH mit E-Mail vom 09.10.2020.
- /2/ Enercity Erneuerbare GmbH. Lageplan: Windpark Urschmitt Übersichtslageplan, Stand: 16.03.2020. Übermittelt durch enercity Windpark Beuren GmbH mit E-Mail vom 09.10.2020.
- /3/ anemos-jacob GmbH. Expert opinion On the long term mean wind resource And the expected mean energy production of wind turbines At the site Beuren and Urschmitt In Germany, Rev. 1.1, Stand: 09.03.2017. Übermittelt durch enercity Windpark Beuren GmbH mit E-Mail vom 16.10.2020.
- /4/ enercity Windpark Beuren GmbH. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch enercity Windpark Beuren GmbH mit E-Mails vom 16.10.2020 und vom 29.10.2020.
- /5/ enercity Windpark Beuren GmbH. Beschreibung der Schutzobjekte. Übermittelt durch enercity Windpark Beuren GmbH mit E-Mail vom 27.10.2020.
- /6/ DNV GL – Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 6, Stand 15.11.2018.
- /7/ DNV GL – Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System – Integration des BLADEcontrol Ice Detector BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen, Report Nr.: 75172, Rev. 5 Stand: 07.01.2019.
- /8/ DNV-GL – Energy Renewables Certification. Typenzertifikat: Eisdetektorsystem BLADEcontrol Ice Detector (BID). TC-DNVGL-SE-0439-04314-0, Hamburg, Stand: 18.10.2018.
- /9/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /10/ Tammelin, B. et al. Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014), ISBN 951-679-518-6. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland. 2000.
- /11/ Lautenschlager, F. Studie zum Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Ereignis Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Bachelorarbeit im Studiengang Umwelttechnik. Hamburg 2012.
- /12/ Storck, F. Influence of wind conditions under icing conditions on the result of a risk assessment. Winterwind international wind energy conference. Piteå 2015.
- /13/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /14/ Wichura, B. (DWD). The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icings, IWAIS 2013.

- /15/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /16/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2016.
- /17/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /18/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /19/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAI 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
- /20/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010.
- /21/ 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.
- /22/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /23/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Berlin. Juli 2005.
- /24/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /25/ Ministerium der Finanzen, Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV-TB). Fassung November 2019.
- /26/ Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord. MERKBLATT für Vorhaben zur Errichtung von Windenergieanlagen hinsichtlich immissionsschutzrechtlicher und arbeitsschutzrechtlicher Anforderungen and die Antragsunterlagen in Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz – BimSchG mit Anlagen A und B). Fassung November 2019.
- /27/ BImSchG 2017. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 29.05.2017.
- /28/ 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.
- /29/ DIN EN 50126. Bahnanwendungen. Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). März 2000.
- /30/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /31/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.

- /32/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /33/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /34/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /35/ Green Book. Methods for the determination of possible damage – first edition. Voorburg 1989.
- /36/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 0, Oktober 2018.