

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

Erstellt im Auftrag für

Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH
Oldenburg

Revision 0

Hamburg, 25.02.2021

Revision	Datum	Änderung
0	25.02.2021	Erste Ausgabe

Gegenstand: Risikobeurteilung am Windenergieanlagen-Standort
Hiddels

Referenz-Nr.: 2021-WND-RB-044-R0

Auftraggeber: Projektierungsgesellschaft für regenerative
Energiesysteme mbH
Alexanderstraße 404 b
26127 Oldenburg

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

WEA-Typ:	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Vestas V150	5,6	150,0	125,0

Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:

- WEA-Spezifikationen: Nennleistung, Drehzahlbereich, Rotordurchmesser und Nabenhöhe /1/.
- Koordinaten der geplanten WEA /2/.
- Lageplan mit Darstellung der WEA und der Schutzobjekte /3/.
- Weibull-Parameter A und k sowie die Windrichtungsverteilung auf Nabenhöhe /4/.
- Angaben und Nachweise zu dem Eiserkennungssystem der WEA /5/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und des WEA-Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /6/.

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 25.02.2021
Geprüft durch	Dr. R. Fischer Sachverständiger	Hamburg, 25.02.2021

Für weitere Auskünfte:

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

Tel.: +49 40 8557 1754

Fax: +49 40 8557 2552

E-Mail: ncromm@tuev-nord.de

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	5
2	Angaben zum Windenergieanlagen-Standort	7
3	Risikoanalyse	8
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i>	8
3.1.1	Vereisungspotential.....	9
3.1.2	Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf).....	10
3.1.3	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	11
3.1.4	Gefährdungsradius.....	12
3.2	<i>Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Autobahn A29 und der Landesstraße L816 durch Eisabfall</i>	15
3.2.1	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	15
3.2.2	Trefferhäufigkeiten	16
4	Modell- und Datenunsicherheiten	19
5	Zusammenfassung und Risikobewertung	19
6	Rechtsbelehrung	22
7	Formelzeichen und Abkürzungen	23
8	Literatur- und Quellenangaben	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/	7
Abbildung 2:	Fallweiten bei 23,0m/s Windgeschwindigkeit.	13
Abbildung 3:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 23,0\text{m/s}$).	14
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	16
Abbildung 5:	Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Koordinaten der geplanten WEA /2/.....	8
Tabelle 2:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.	10
Tabelle 3:	Idealisierte Eisobjekte.....	12
Tabelle 4:	Ermittelte maximale Fallweiten.	12
Tabelle 5:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.....	17

1 Aufgabenstellung

Am Standort Hiddels in Niedersachsen plant der Auftraggeber, die Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH, die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V150 mit 125,0m Nabenhöhe (NH) und 150,0m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Autobahn A29 sowie die Landesstraße L816.

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 Niedersachsen eingeführten Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen /26/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /26/ gelten Abstände größer als $1,5 \times (D + NH)$ im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen gemäß DIN 1055-5 /24/ als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit Schreiben vom 28.01.2021 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Autobahn A29 und der Landesstraße L816 sowie den umliegenden Wirtschaftswegen (landwirtschaftliche Nutzung) durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA. Die Erstellung der gutachtlichen 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 V150.
3. Darstellung der ermittelten Kenngrößen zur Risikobewertung.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.

5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte von den WEA des Typs Vestas V150 am WEA-Standort Hiddels in Abhängigkeit der Ergebnisse der Risikobewertung. Dies umfasst eine Einordnung der Ergebnisse sowie die Nennung umgesetzter und/oder möglicher weiterer Maßnahmen zur Risikominderung.

Eine weitere Analyse des möglichen Schadensverlaufs durch Eisabwurf/Eisabfall (z.B. Gebäudeschäden, Fahrzeugschäden, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe, 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 auf der Autobahn A29 und der Landstraße L816 durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neu geplanten WEA beurteilt, sowie die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Wirtschaftswege berücksichtigt. Mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der geplanten WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme. Für die WEA-Spezifikationen der geplanten WEA wurden die benannten Spezifikationen berücksichtigt (siehe Seite 2).

Die in dieser Stellungnahme verwendeten Randbedingungen und Rechnungen zum Eisabwurf und Eisabfall basieren auf den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen von Eisabwurf und Eisabfall von WEA /32/.

2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V150 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

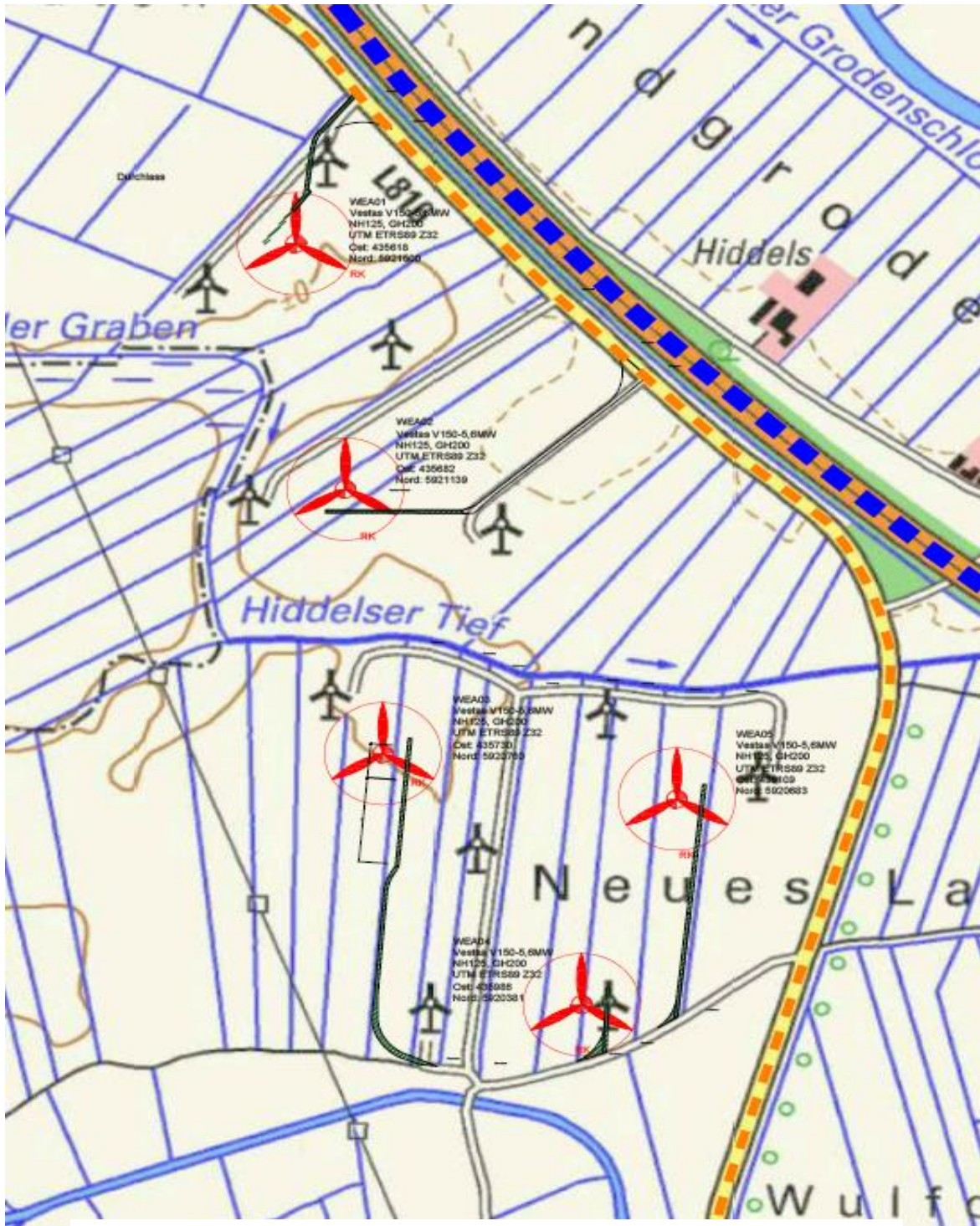


Abbildung 1: Lageplan /3/

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Hiddels ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Nordöstlich der geplanten WEA verlaufen die Autobahn A29 (siehe Abbildung 1, blau gestrichelte Linie), sowie die Landesstraße L816 (siehe Abbildung 1, orange gestrichelte Linie). Der kürzeste Abstand der WEA 01 (WEA-Mittelpunkt) zur Landesstraße L816 beträgt ca. 192m, die Autobahn A29 verläuft parallel dazu.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /3/ und der Standortbeschreibung /6/ entnommen, die Koordinaten der geplanten Standorte sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

WEA-Nr.	Koordinaten UTM, ETRS 89, Zone 32	
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]
01	435.618	5.921.500
02	435.682	5.921.139
03	435.730	5.920.750
04	435.986	5.920.381
05	436.109	5.920.683

Tabelle 1: Koordinaten der geplanten WEA /2/.

3 Risikoanalyse

3.1 Eisabwurf und Eisabfall

Eisstücke oder Eiszapfen, die aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit herabgeschleudert werden oder herunterfallen, können für Verkehrsteilnehmer 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 5) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

3.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind außerdem die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemein gültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /21/, /22/, /23/.

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 Hiddels ist gemäß den Eiskarten Europas /11/ 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. 8 möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen. Dieser Wert deckt sich mit internen Untersuchungen von TÜV NORD zur Vereisungshäufigkeit /12/, /13/, 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“ /18/, /19/, /20/ 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 /20/. Unter Berücksichtigung der in /19/ 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 2 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 V150	150,0	22.500	11,6	ca. 163

Tabelle 2: 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 /5/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht bei BLADEcontrol auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /7/. Gemäß /7/ überschreitet die Empfindlichkeit das notwendige Maß, sodass eine Gefährdung der Umgebung durch Eisabwurf im laufenden Betrieb nicht anzunehmen ist. Ein Eisansatz wird erkannt, bevor dieser eine kritische Masse erreicht /7/.

Dadurch, dass BLADEcontrol auch bei Stillstand der WEA das Eis direkt an den Rotorblättern detektiert, kann die WEA bei Eisansatz nicht nur automatisch abgeschaltet werden, es wird auch die Eisfreiheit der Rotorblätter zeitnah gemessen /7/, /8/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /8/.

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

Ein Wegschleudern des Eises von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) ist aufgrund des geplanten Systems zur Eiserkennung für den Standort Hiddels 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 V150 mit 125,0m NH und 150,0m D.
- WEA: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,0U/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 /4/. 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 /10/, /11/, /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 1,0kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 3 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 3: Idealisierte Eisobjekte.

3.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 200m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 23,0m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /4/) auf Basis der in Tabelle 3 angegebenen Eisobjekte die maximale Fallweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 4 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]
23,0	126,5	142,4	164,2	205,1	248,4

Tabelle 4: Ermittelte maximale Fallweiten.

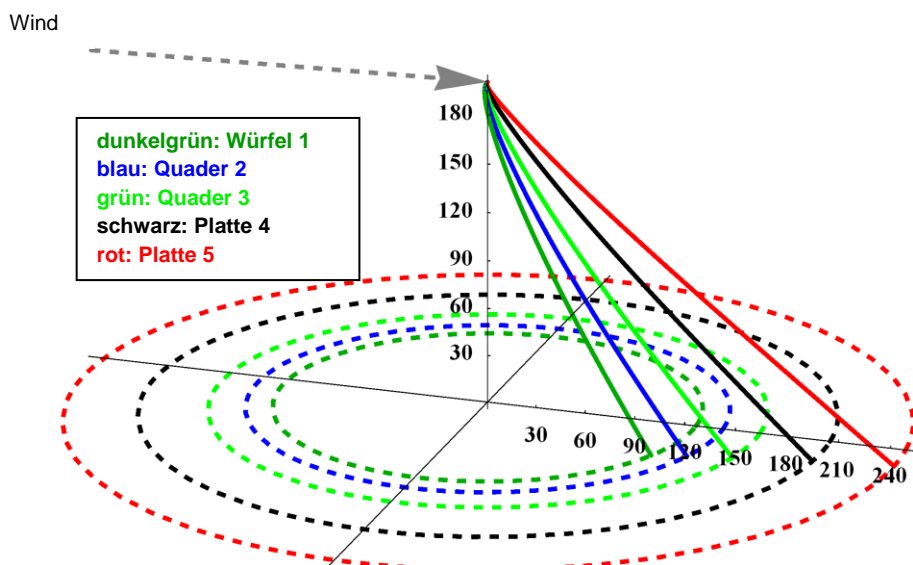


Abbildung 2: Fallweiten bei 23,0m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Spalte 6 der Tabelle 4 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Fallweite ist in der nachfolgenden Abbildung 3 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Teile des Gefährdungsradius der WEA 01 Abschnitte der Autobahn A29 sowie der Landesstraße L816 überdecken. Außerdem ist zu erkennen, dass Teile der Gefährdungsradien der WEA 04 und der WEA 05 Abschnitte der Landesstraße L816 überdecken. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Autobahn A29 und der Landesstraße L816 durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse und die Simulation des Eisabfalls durchgeführt (siehe Kapitel 3.2). Für die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /6/ für die im Winter außerhalb der Bewirtschaftungsperiode von einer unregelmäßigen Nutzung ausgegangen werden kann (untergeordnete Freizeitnutzung), wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des ermittelten Gefährdungsradius qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 5).

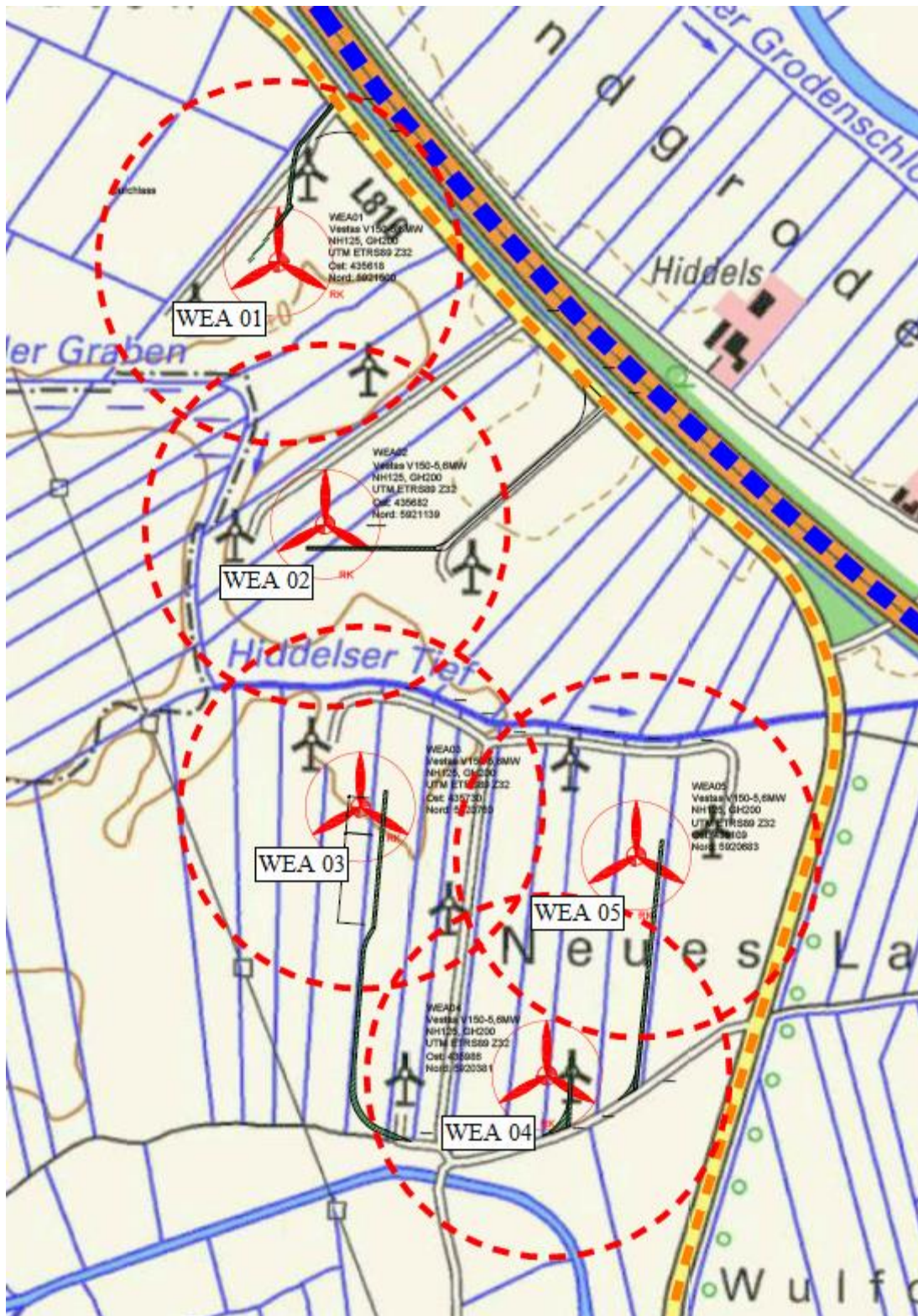


Abbildung 3: Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 23,0\text{m/s}$).

3.2 Detailanalyse Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Autobahn A29 und der Landesstraße L816 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 /29/, /30/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden pro WEA etwa 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V150 mit 125,0m NH und 150,0m 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 Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ 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 Rotationssebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall (0° , 360°) gleichverteilt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /4/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.304 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (8 Vereisungstage pro Jahr mit je 163 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen pro WEA dargestellt.

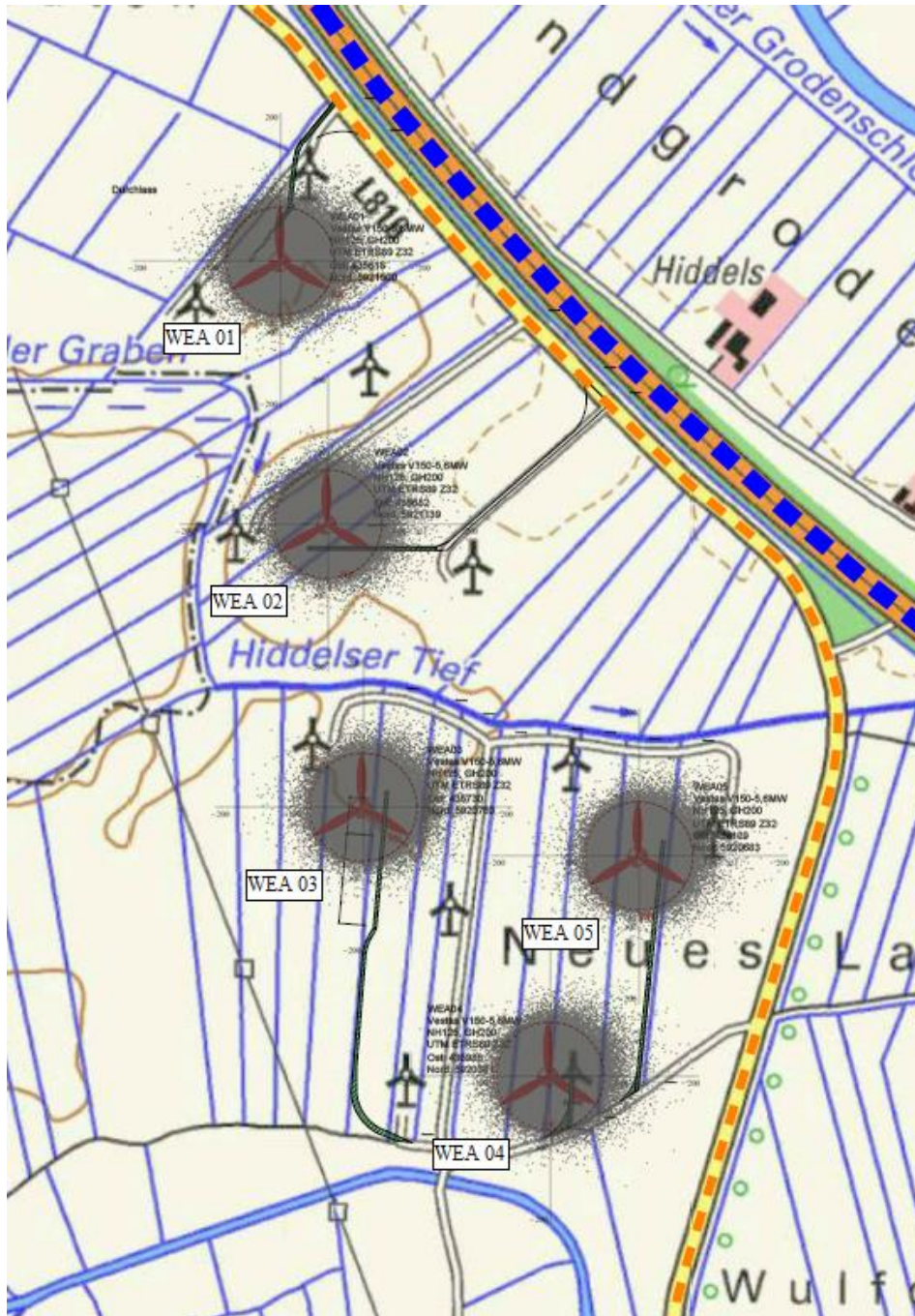


Abbildung 4: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

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 ist in der Tabelle 5 beschrieben.

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

Tabelle 5: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall),
 *alles außerhalb der Zone 4.

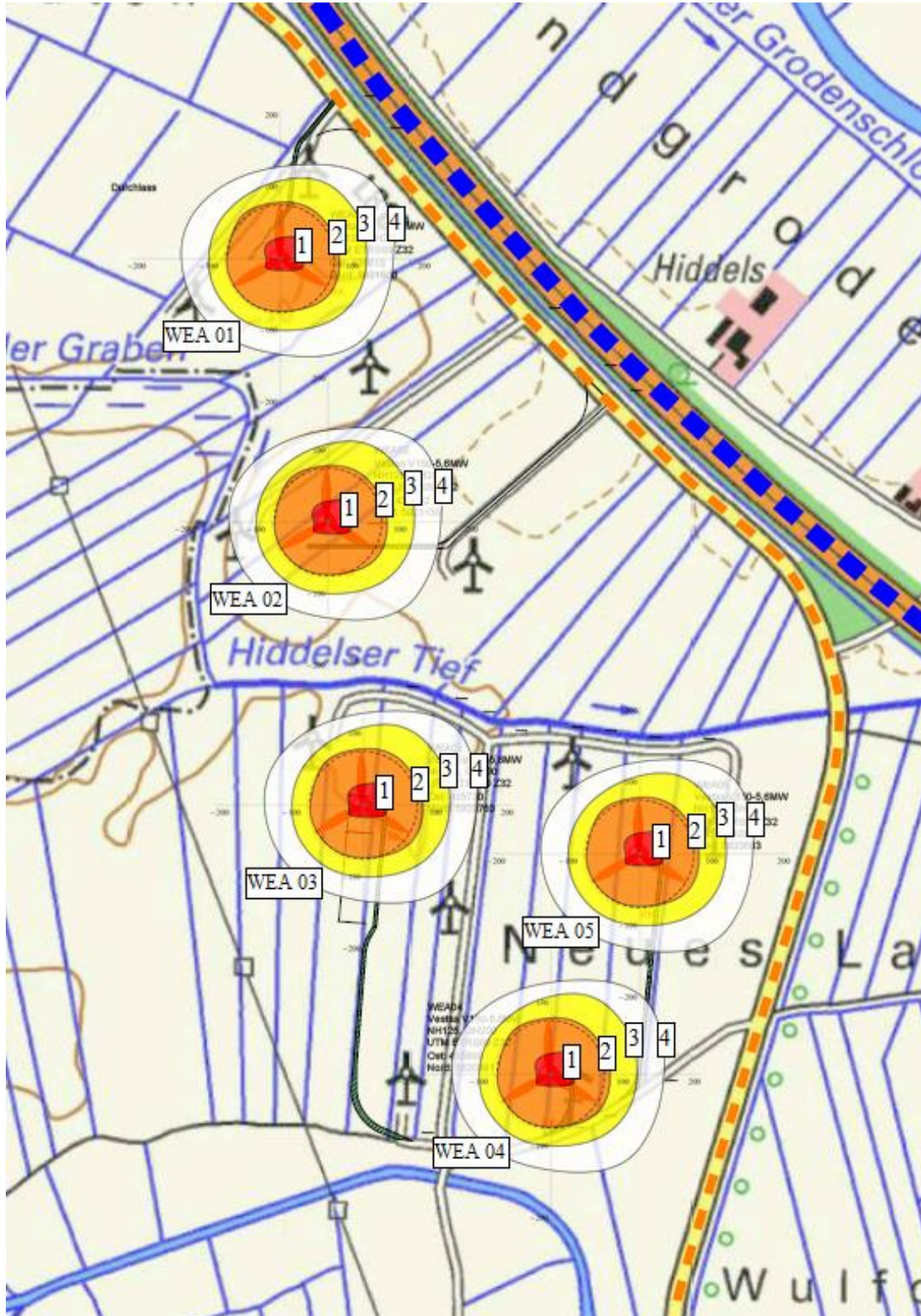


Abbildung 5: Trefferhäufigkeiten [$1/m^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 5 zeigen, dass keine Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA Abschnitte der Autobahn A29 oder der Landesstraße L816 überdecken. Eine direkte Gefährdung durch Eisabfall von den geplanten WEA für Verkehrsteilnehmer auf der Autobahn A29 und auf der Landesstraße L816 ist somit nicht zu unterstellen.

4 Modell- und Datenunsicherheiten

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

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

5 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Hiddels in Niedersachsen plant der Auftraggeber, die Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH, die Errichtung von fünf WEA des Typs Vestas V150 mit 125,0m NH und 150,0m D. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Autobahn A29 sowie die Landesstraße L816.

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 /7/ und /8/ wurde für die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Eiserkennung wie in /7/ und /8/ beschrieben in den geplanten WEA-Typ Vestas V150 integriert wird.

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass die landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA durch Eisabfall betroffen sind. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass die Autobahn A29 und die Landesstraße L816 außerhalb der direkt durch Eisabfall betroffenen

Bereiche liegen. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Autobahn A29 und der Landesstraße L816 durch Eisabfall ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.2.2 nicht anzunehmen.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege ist eine Gefährdung durch Eisabfall nicht anzunehmen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit weniger landwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten dennoch Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in überdachten Maschinen ausgeführt, welche einen Schutz gegen möglichen Eisabfall bieten. Die Fahrer landwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabfallende Eisobjekte geschützt. Sie haben über sich ein festes Dach und vor sich eine senkrechte Scheibe. Ein von oben herabstürzendes Eisobjekt könnte demnach auf das Dach fallen. TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt ein festes Fahrzeugdach durchschlagen hat.

Weitere risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 3.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 3 empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /25/, /26/ durch einen unabhängigen Sachverständigen /31/ geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /25/, /26/ durch einen unabhängigen Sachverständigen /31/ regelmäßig 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 1,3-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftsweegen auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzern der Wirtschaftswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.

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 /6/ hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher geringen Frequentierung ausgegangen werden kann,
- dass davon auszugehen ist, dass der landwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen oder Fahrzeugen erfolgt (landwirtschaftlicher Verkehr ist im Winter außerhalb der Wirtschaftsperiode als eher gering anzusehen),
- dass Warnhinweise zur Warnung vor akuter Eisabfallgefahr an allen möglichen Zugängen zum Windpark aufgestellt werden sollen und hierüber die Möglichkeit zur Gefahrenvermeidung gegeben ist,

ist das nach Umsetzung obiger Maßnahmen zur Eiserkennung bzw. Abschaltung bei Eisansatz und Risikominderung verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer auf der Autobahn A29 und auf der Landesstraße L816 sowie auf den umliegenden Wirtschaftswegen als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Niedersachsen /26/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabfalls und Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von $1,5 \times (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})$ “

sowie in Anlehnung an

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

ist eine konkrete Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Autobahn A29 und auf der Landesstraße L816 sowie auf den umliegenden Wirtschaftswegen durch die Errichtung der geplanten WEA am Standort Hiddels durch Eisabwurf/Eisabfall nach Umsetzung der genannten Maßnahmen zur Risikominderung nicht anzunehmen.

6 Rechtsbelehrung

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

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG leistet keine Gewähr für die Erfüllung von Vorhersagen. Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der 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.

7 Formelzeichen und Abkürzungen

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

8 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Ausschnitte aus der WEA Spezifikation. Übermittelt durch Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit E-Mail vom 01.02.2021.
- /2/ Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH. Angaben zu den WEA-Koordinaten. Übermittelt durch Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit E-Mail vom 01.02.2021.
- /3/ Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH. Lageplan: Übersichtsplan Windpark Hiddels - Repowering, Stand: 18.01.2021. Übermittelt durch Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit E-Mail vom 01.02.2021.
- /4/ Ingenieurbüro PLANKon. Angaben zu den meteorologischen Daten: Stand: 17.06.2020. Übermittelt durch Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit E-Mail vom 01.02.2021.
- /5/ Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH. Angaben zum Eiserkennungssystem: Übermittelt durch Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit E-Mail vom 02.02.2021.
- /6/ Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH mit E-Mails vom 01.02.2021 und vom 02.02.2021.
- /7/ DNV GL – Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 6, Stand 15.11.2018.
- /8/ 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.
- /9/ DNV-GL – Energy Renewables Certification. Typenzertifikat: Eisdetektorsystem BLADEcontrol Ice Detector (BID). TC-DNVGL-SE-0439-04314-1, Hamburg, Stand: 20.10.2020.
- /10/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /11/ Tammelin, B. et al. Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014), ISBN 951-679-518-6. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland. 2000.
- /12/ Lautenschlager, F. Studie zum Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Ereignis Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Bachelorarbeit im Studiengang Umwelttechnik. Hamburg 2012.
- /13/ Storck, F. Influence of wind conditions under icing conditions on the result of a risk assessment. Winterwind international wind energy conference. Piteå 2015.

- /14/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /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/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010.
- /22/ 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.
- /23/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /24/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Berlin. Juli 2005.
- /25/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /26/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz. Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) – Fassung Juni 2020.
- /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/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.

- /30/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /31/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.
- /32/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 0, Oktober 2018.