

Gutachten zum Risiko aufgrund Eisfall / Eiswurf durch vier Windenergieanlagen

im

Windenergieprojekt Windpark Sundern – Hohe Liete

der

NATURWERK Windenergie GmbH



Angaben zur Auftragsbearbeitung

Auftraggeber: NATURWERK Windenergie GmbH
Doncaster Platz 5-7
45699 Herten

Ansprechpartner: Jacob Boehmfeld
UKA Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG
Hermannstraße 1
33602 Bielefeld
Tel.: 05215 / 56112 518
E-Mail: jacob.boehmfeld@uka-gruppe.de

Auftragnehmer: GICON®-Großmann Ingenieur Consult GmbH

Postanschrift: GICON®-Großmann Ingenieur Consult GmbH
Standort Rostock
Carl-Hopp-Straße 4a
18069 Rostock

Projektnr. GICON: P250630FCI

Projektleiter: Dipl.-Math. Ingo Warnke
Telefon: +49 38204 618 86
E-Mail: i.warnke@gicon.de

Bearbeiter: siehe Projektleiter

Fertigstellungsdatum: 19.11.2025

Verfasser	Prüfer	Freigabe
Warnke, Ingo GICON Digital unterschrieben von Warnke, Ingo GICON Datum: 2025.11.19 14:18:56 +01'00' Ingo Warnke i.warnke@gicon.de	Rode, Konstantin GICON Digital unterschrieben von Rode, Konstantin GICON Datum: 2025.11.19 16:52:56 +01'00' Konstantin Rode k.rode@gicon.de	Adam, Frank GICON Digital unterschrieben von Adam, Frank GICON Datum: 2025.11.20 08:13:37 +01'00' Dr. Frank Adam f.adam@gicon.de

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzzusammenfassung.....	4
2	Einführung.....	4
3	Allgemeine Grundlagen.....	4
4	Standortspezifische Daten und Berechnungen.....	6
4.1	Schutzobjekte.....	6
4.2	Simulationen	8
4.3	Eislösungshäufigkeit.....	11
4.4	Aus- und Bewertung Eisfall	12
4.5	Aus- und Bewertung Eiswurf	15
5	Quellenverzeichnis	22

1 Kurzzusammenfassung

Alle 4 WEA können im Winter ohne Abschaltung bei Eis auf den Blättern betrieben werden. Die WEA 2,3 und 4 stellen dann kein Risiko dar, während die WEA 1 ein akzeptables Risiko von unter 4% des Grenzwertes darstellt (für den Weg von Endorf nach Linneperhütte). Für Details siehe Tabelle 5 und Tabelle 6 ab Seite 21.

2 Einführung

Die NATURWERK Windenergie GmbH plant im Dreieck Endorf, Linneperhütte und Meinkenbracht im Hochsauerlandkreis (Bundesland Nordrhein-Westfalen) im Windpark Sundern – Hohe Liete die Errichtung und den Betrieb von vier Windenergieanlagen (WEA).

Für diesen Windpark ist ein Gutachten zur Bewertung des Risikos einer Gefährdung der Umgebung der WEA durch Eisfall/Eiswurf einzureichen. Dieses Gutachten wird mit diesem Bericht erbracht.

Alle vier WEA sind vom Typ Nordex N175/6.X, mit einer Nabenhöhe von 179 m, einem Rotordurchmesser von 175 m und 6,8 MW Nennleistung.

3 Allgemeine Grundlagen

Grundlagen des Gutachtens bilden die in gesetzlichen Normen festgelegten und in der üblichen Praxis durchgeführten Vorgehensweisen, Grenzwerte, Berechnungen usw. Insbesondere wird in den vom DIBt herausgegebenen technischen Baubestimmungen /1/ eine standortspezifische Untersuchung gefordert, falls Gebäude oder Verkehrswege näher als $1,5 \cdot (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotordurchmesser})$ an einer WEA liegen. Bei größeren Abständen ist eine solche Untersuchung nicht notwendig.

Für das Gebiet um eine WEA sind Schutzobjekte zu definieren, die dann im Weiteren bezüglich der verschiedenen Risiken untersucht werden.

Als Ziel für die Betrachtung wird gesetzt, dass eine WEA die „minimale endogene Sterblichkeit“ (Todesrisiko ohne äußere Einflüsse) nicht wesentlich erhöht. Damit ergeben sich bestimmte, nicht zu überschreitende Grenzwerte für Schädigungswahrscheinlichkeiten von Personen /2/.

Diese Grenzwerte sind davon abhängig, welche Personengruppen sich in einem Schutzobjekt aufhalten können. Ist dies eine sehr begrenzte Gruppe (z.B. Familienangehörige auf einem Privatgrundstück), wird das Einzelrisiko der am meisten gefährdeten Person betrachtet, dieses Todesrisiko darf den Wert von 10^{-5} Todesfällen pro Jahr nicht überschreiten. Sind in einem Schutzobjekt jedoch im Laufe der Zeit viele verschiedene Menschen anzutreffen (z.B. auf öffentlichen Straßen und Wegen), wird das Gruppenrisiko betrachtet, d.h. die Anzahl aller durch Schadensfälle verursachter Todesfälle. Der maximal erlaubte Grenzwert dafür ist 10^{-3} Todesfälle pro Jahr.

Die Eisbewegung wird mit Hilfe einer aerodynamischen Simulation viele Millionen Male berechnet, wobei jedes Mal andere Werte für Windrichtung und -geschwindigkeit, Azimut-Ausrichtung, Drehzahl, Loslösungspunkt vom Blatt und Eismasse angenommen werden. Dabei sind Windrichtung und -geschwindigkeit die wichtigsten Parameter, da diese den Bereich einiger abgeleiteter Parameter bestimmen. Diese Werte werden entsprechend den am Standort gültigen Windbedingungen zufällig gewählt, so dass sich mit der großen Anzahl der berechneten Simulationen ein gutes Bild für die Verteilung der Auftreffpunkte des Eises ergibt.

Bei Eiswurf produziert die Anlage auch bei Eisansatz Energie und die Rotordrehzahl ist entsprechend hoch. Bei Eisfall läuft die Anlage nach einer Abschaltung wegen erkanntem Eis nur noch mit geringen Trudeldrehzahlen. Dafür gibt es für alle marktgängigen WEA von den Herstellern verfügbare Zusatzmodule, die Eisansatz erkennen und die WEA dann abschalten können.

Des Weiteren wird bestimmt, wie oft ein Eislösungs-Ereignis (mit anschließendem Eiswurf/-fall) pro Jahr überhaupt stattfindet. Das hängt sowohl von der Anzahl der Eistage am Standort als auch von der angenommenen mittleren Anzahl der Eislösungsereignisse pro Eistag ab.

Zusammen ergibt sich daraus die Häufigkeit von Eistreffern auf die Schutzobjekte pro Jahr. Es wird ermittelt, wie oft sich Personen im Schutzobjekt aufhalten, entweder über Verkehrsdaten oder über angenommene Aufenthaltsdauern in flächigen Schutzobjekten.

4 Standortspezifische Daten und Berechnungen

Es handelt sich bei den vier WEA um Anlagen vom Typ Nordex N175/6.X. Die folgende Tabelle gibt die Position in UTM 32 Koordinaten an.

Tabelle 1: Typ, Koordinaten (UTM 32) und Höhenwerte der betrachteten WEA

Nr.	Typ	Rechtswert in m	Hochwert in m	Geländehöhe in m	Nabenhöhe in m
WEA 1	N175/6.X	435.197	5.682.798	504	179
WEA 2	N175/6.X	434.701	5.682.532	508	179
WEA 3	N175/6.X	434.924	5.682.114	558	179
WEA 4	N175/6.X	435.410	5.682.149	538	179

Die folgende Abbildung zeigt die geplanten WEA und die weitere Umgebung.

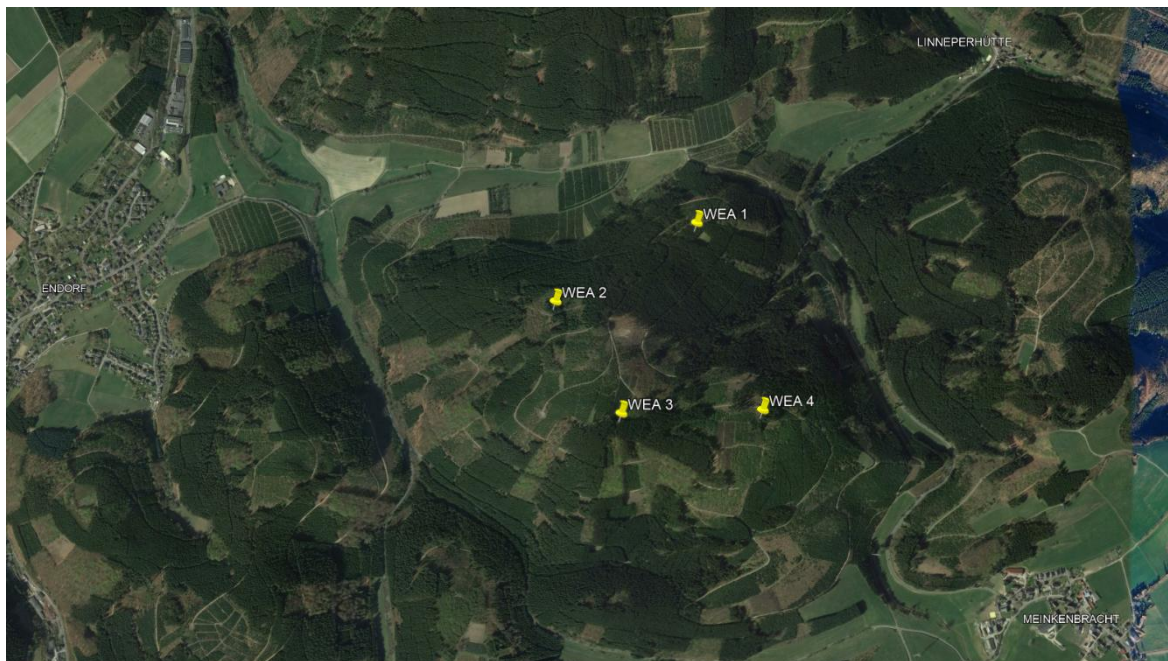


Abbildung 1: Standorte der geplanten WEA.

Die vier WEA werden in Waldgebiet auf einem Berg errichtet („Hohe Liete“), der die umliegenden Ortschaften um 100 – 200 m überragt.

4.1 Schutzobjekte

Der kritische, nach /1/ zu betrachtende Abstand von einer WEA, über den hinaus nicht mehr mit Eistreffern zu rechnen ist, beträgt nach der in Kapitel 3 genannten Formel für alle vier WEA $r_1 = 1,5 \cdot (179 \text{ m} + 175 \text{ m}) = 531 \text{ m}$. Da allerdings der oben genannte beträchtliche Höhenunterschied zwischen den Standorten der WEA und der Umgebung besteht, wurde dieser Wert r_1 nochmals mit 1,5 multipliziert, um auf keinen Fall Eistreffer zu ignorieren, die bergab fliegend weiter entfernt aufkommen. Damit ergibt sich der verwendete kritische Radius zu $r = 1,5 \cdot 531 \text{ m} = 796,5 \text{ m}$.

Die folgende Abbildung 2 zeigt die nähere Umgebung der WEA und um sie die kritischen Kreise mit den Radien von (aufgerundet) 800 m. Zusätzlich sind die in diesen kritischen Kreisen enthaltenen Verkehrswege markiert.

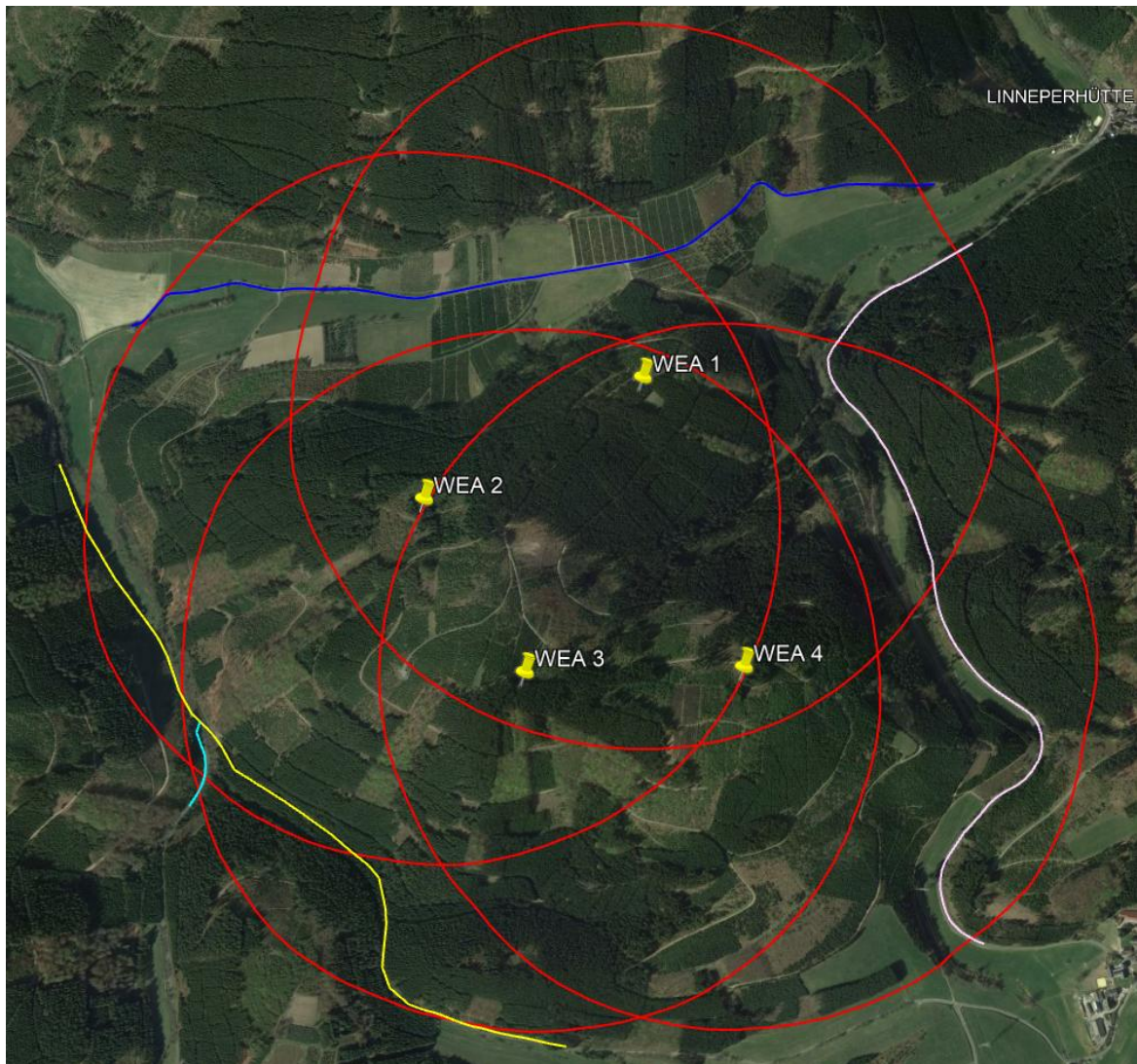


Abbildung 2: WEA 1 - WEA 4 mit kritischen Kreisen mit Radius 800 m sowie einigen Straßen als Schutzobjekten

Es wurden keine der über und um den Berg führenden Waldwege als Schutzobjekte betrachtet. In der folgenden Abbildung 3 aus /3/ ist zu erkennen, dass diese Wege keinerlei Abkürzung zu den umgebenden Straßen L 519 und K 24 bieten. Der Fahrzeitunterschied wird im Winter bei Eiswetter durch die zu erwartende Beräumung dieser Straßen im Gegensatz zu den Waldwegen noch vergrößert. Auf dem Berg befinden sich auch keine im Winter relevanten Ziele. Dann ist mit forstwirtschaftlichen Arbeiten dort nicht zu rechnen.

Es bleiben also als Schutzobjekte in den kritischen Kreisen die „L 519“ (gelb), die „K 24 Ost“ (helles violett), die „K 24 West“ (hellblau) und der „Weg Endorf – Linneperhütte“ (dunkelblau). Die K 24 verläuft teilweise zusammen mit der L 519, deshalb ‚mündet‘ die K 24 West scheinbar in die L 519.

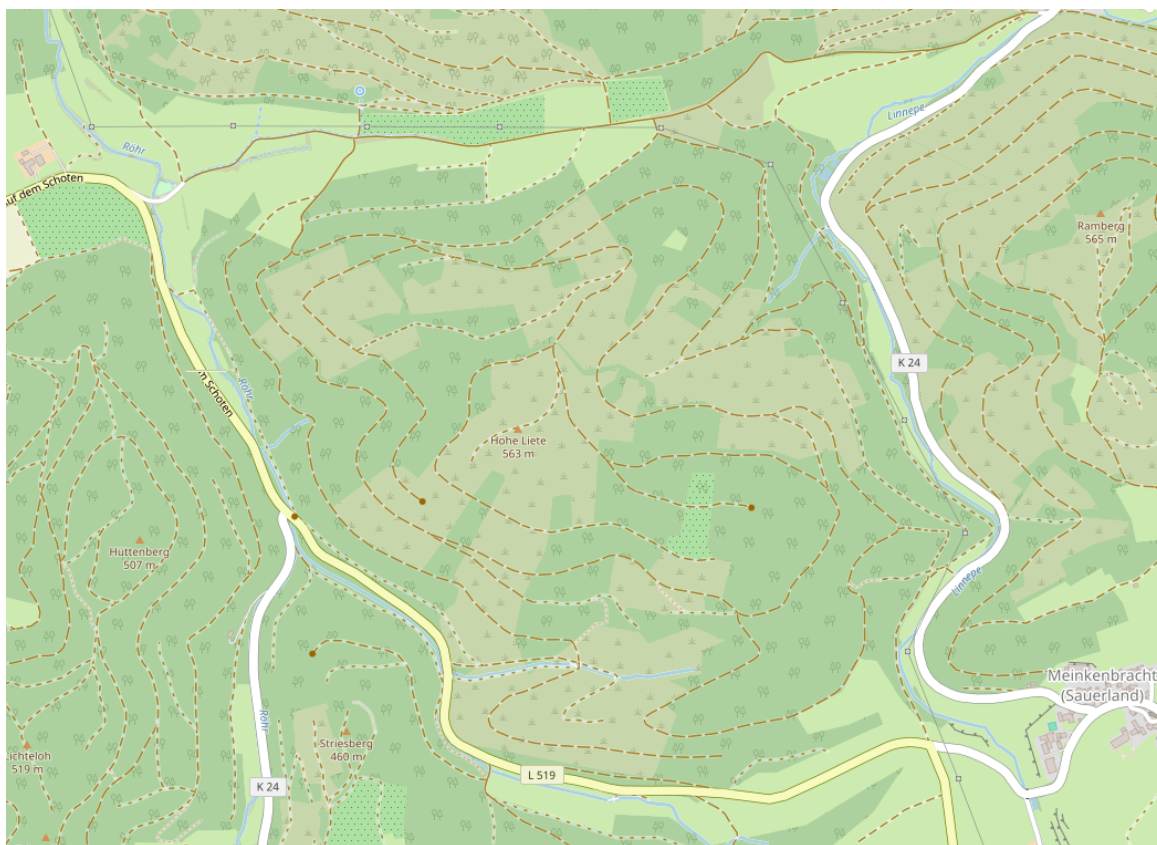


Abbildung 3: OpenStreetMap-Karte um die Hohe Liete. Die Waldwege dort führen nur auf den Berg und in Ebenen um ihn herum, bilden aber keine sinnvolle Abkürzung über ihn hinweg.

Diese Schutzobjekte sind Wegeschutzobjekte, auf denen viele Personen in Fahrzeugen zu einem Ziel unterwegs sind. Deshalb wird auf diesen vier Straßen das Gruppenrisiko betrachtet.

4.2 Simulationen

Als Anfangswerte für die Simulation von Eisfall/Eiswurf wurden die am Ort vorliegenden Windbedingungen betrachtet, so dass die Häufigkeiten der verschiedenen Kombinationen aus Windrichtung und Windgeschwindigkeit richtig abgebildet werden. Die folgende Tabelle 2 enthält die Häufigkeiten der Kombinationen aus Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 200 m Höhe (der ersten verfügbaren über Nabenhöhe).

Die zu Grunde liegenden Winddaten stammen vom „Copernicus regional reanalysis for Europe“ (CERRA) Programm für den Zeitraum von 1999 - 2025. Die Quelle der Daten ist das Programm windPRO, das diese Daten als ca. 230.000 Datensätze von gleichzeitig bestimmten Windgeschwindigkeiten und -richtungen in Höhen von 15, 50, 75, 100, 150, 200, 300 und 500 m über Grund in Textform bereitstellt. Diese Daten entsprechen 1 h-Mittelwerten.

Tabelle 2: Kombinationen aus Windgeschwindigkeit und -richtung am Standort in 200 m Höhe, wobei die Zahlen die jährliche Häufigkeit dieser Kombinationen in Stunden angeben.

WindBin	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
0	10,0	8,6	8,9	7,5	7,3	6,7	6,2	8,6	7,9	10,4	10,1	9,4
1	28,2	28,1	24,5	20,4	18,5	19,8	20,7	23,8	27,0	28,7	29,8	31,5
2	59,7	47,1	37,8	31,1	31,0	31,8	32,9	38,6	44,4	46,1	50,3	52,8
3	71,2	59,1	44,8	41,6	40,9	42,7	44,6	58,2	65,1	70,2	71,7	74,0
4	77,0	72,6	58,3	55,2	52,3	53,1	53,7	82,2	89,7	91,4	85,2	84,9
5	70,0	73,7	66,3	60,8	59,6	57,5	63,1	100,7	119,1	113,3	96,4	85,0
6	51,8	59,5	62,3	64,2	62,6	61,4	72,8	123,2	161,2	126,4	96,6	74,3
7	33,1	38,7	42,7	48,4	58,1	63,2	82,0	148,3	174,4	111,3	85,8	53,7
8	19,0	20,7	26,0	33,2	46,5	62,0	94,7	167,3	169,8	99,5	65,7	37,0
9	9,7	9,8	12,1	19,3	31,0	63,3	101,6	172,0	138,9	76,7	50,0	25,4
10	4,2	3,7	3,0	10,4	15,0	53,5	103,3	153,0	106,3	60,5	36,2	15,0
11	1,6	1,9	0,8	4,3	6,4	41,7	93,1	131,0	82,7	43,3	30,9	8,0
12	0,6	0,6	0,2	0,6	2,6	27,0	72,3	94,2	55,4	35,0	21,8	4,7
13	0,1	0,2	0,1	0	0,6	16,4	49,4	67,1	37,6	24,4	12,3	2,8
14	0,1	0	0	0	0,3	8,3	33,2	41,5	25,3	17,0	9,5	1,6
15	0	0	0	0	0,1	3,5	17,7	22,6	18,2	11,5	5,8	1,1
16	0	0	0	0	0	1,5	9,2	12,7	10,3	6,7	3,2	0,4
17	0	0	0	0	0	0,5	4,3	6,3	5,3	3,9	2,0	0,2
18	0	0	0	0	0	0,1	1,7	3,3	2,7	3,1	1,0	0,1
19	0	0	0	0	0	0	0,4	1,9	1,3	1,0	0,3	0
20	0	0	0	0	0	0	0,1	0,7	0,7	0,8	0,2	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,6	0,5	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0

Im Intervall von -30 bis 1 °C wird eine Temperatur bestimmt, aus der die Luftdichte berechnet und eine entsprechende Größe des abfallenden Eisstückes (0 °C: 2 cm Durchmesser, -30 °C: 12 cm Durchmesser, linear interpoliert) festgelegt wird. In 75 % der Zeit wird eine Temperatur von -10 bis 1 °C angenommen, in 20 % der Zeit von -20 bis -10°C und in den verbleibenden 5 % der Zeit von -30 bis -20 °C.

Das Eisstück löst sich gleichverteilt von einem beliebigen Punkt des Rotorblattes. Das Rotorblatt befindet sich gleichverteilt auf seinem Umlauf.

Abhängig von der Windgeschwindigkeit wird der potenzielle Bereich der Rotordrehzahl ermittelt (abhängig davon, ob Eisfall oder Eiswauf betrachtet wird). Diese Werte stammen in



Form jeweils einer Windgeschwindigkeits-Rotordrehzahlkurve aus Daten für die N175/6.X in /4/.

Die Rotordrehzahl wird als zufällig im Bereich 95 – 105 % dieser Drehzahlkurve angenommen.

Von Nordex ist für die N175/6.X ein Eiserkennungssystem erhältlich, falls eine Abschaltung bei Eisansatz an den Blättern notwendig ist. Dieses System ist vom DNV zertifiziert /5/.

Zuletzt wird eine zufällige Azimut-Ausrichtung der Gondel bestimmt. Bei Windgeschwindigkeiten > 3 m/s wird die Anlage nachgeführt, so dass für die Gondel eine Abweichung von der Windrichtung gleichverteilt aus $[-15^\circ, 15^\circ]$ angenommen wird. Da bei unter 3 m/s Wind keine Nachführung stattfindet, ist dort die Gondelstellung komplett zufällig über die Windrose verteilt.

Nachdem so die Anfangsbedingungen der Eisbewegung bestimmt wurden, erfolgt die aerodynamische Berechnung der Flugbahn des Eisstücks bis zum Auftreffen auf dem Boden. Wegen des bergigen Geländes wurden die Geländehöhendaten in der Umgebung der WEA mittels /6/ ermittelt.

Anfangswerte und Daten zum Auftreffen auf dem Boden (Ort, Geschwindigkeit) werden in eine Log-Datei protokolliert. Insgesamt wurden so für alle vier WEA jeweils 50 Millionen Eisfall-Lastfälle und 50 Millionen Eiswurflastfälle berechnet.

4.3 Eislösungshäufigkeit

Die Jahreshäufigkeit von Eisbildung wird anhand einer Karte basierend auf [7] bestimmt.

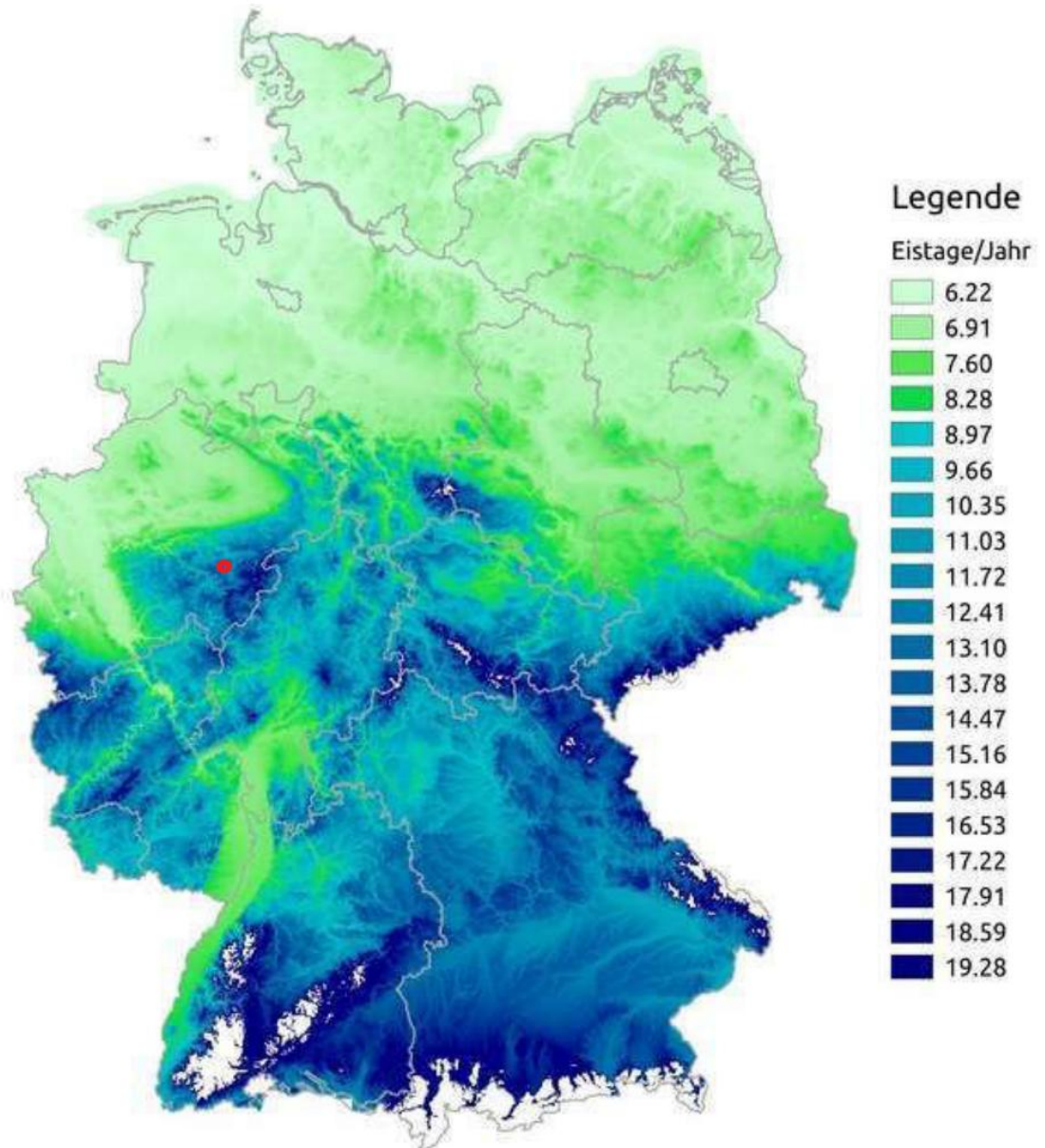


Abbildung 4: Verteilung der Eistage in Deutschland unterhalb 700 m NN, der Standort der WEA ist rot markiert.

Es ergeben sich 11,03 Eistage im Jahr für den Standort in der Nähe von Sundern. Die Vereisung des Blattes und Loslösung von Teilen davon erfolgt an Eistagen wiederholt. Es wird daher von 200 Eislösungs-Ereignissen pro Eistag und pro WEA ausgegangen. Es ergeben sich damit jeweils $p_w = 200 \cdot 11,03 = 2.206$ Eislösungsereignisse pro Jahr und pro WEA.

4.4 Aus- und Bewertung Eisfall

Es werden bei der Auswertung für die 4 Wegeschutzobjekte nur Eistreffer mit einer Auftreffenergie größer als 28,1 J berücksichtigt.

Dieser Schwellwert entspricht dem oberen Energiewert der Hagelklasse H3 („Großer Hagel“) in „Hagel-Skala.pdf“ /8/. Untersuchungen zum Hagel und seinen Schäden sind direkt auf Eisfall anwendbar. Dort wird bis zu dieser Hagelklasse das Standhalten von Autoscheiben im Allgemeinen angenommen, mit möglichen Schädigungen im Einzelfall. Erst in der nächsthöheren Hagelklasse H4 werden Platzwunden und Prellungen bei Menschen erwartet bzw. das Durchdringen von Fahrzeugscheiben. Die Skala lehnt sich an die in wissenschaftlichen Arbeiten verwendete ANELFA-Skala für Hagelintensität in /9/ an, verwendet jedoch eine etwas andere Unterteilung der Klassen.

Die von der Europäischen Union herausgegebene Regulierung der Testverfahren für die Zertifizierung von Sicherheitsglas in Fahrzeugen in /10/ stellt dabei höhere Anforderungen, die diesen Schwellwert abdecken.

Die Berechnung des Todesrisikos pro Jahr (p_R) durch Eisfall einer WEA auf ein Wegeschutzobjekt ergibt sich nach folgender Formel

$$p_R = p_W \cdot p_T \cdot p_F \cdot M_F \quad (1)$$

Formel 1: Berechnungsformel Todesrisiko auf Wegeschutzobjekte

Der Wert p_W beschreibt die Auftretenshäufigkeit von Eisfall pro Jahr und wurde in Abschnitt 4.3 berechnet.

Weiterhin ist

- p_T die Wahrscheinlichkeit, dass bei Eisfall das Wegeschutzobjekt überhaupt getroffen wird,
- p_F die Wahrscheinlichkeit, dass ein auf dem Schutzobjekt fahrendes Fahrzeug bei einem Schadensereignis im Schutzobjekt (gefährlich) getroffen wird. Diese ergibt sich bei Eisfall aus dem Verhältnis der (gefährdeten) Fahrzeugfläche und der Wegfläche, auf der sich genau ein Fahrzeug befindet. Die genaue Berechnung wird weiter unten erklärt.
- M_F die mittlere Anzahl von Personen in einem solchen Fahrzeug.

Es werden jetzt die Trefferhäufigkeiten um die vier WEA graphisch dargestellt, danach folgt die numerische Auswertung dieser Trefferhäufigkeiten.

In allen Abbildungen mit Trefferhäufigkeiten wird das folgende Farbschema verwendet.

Tabelle 3: Farbcodierung Trefferhäufigkeit

Farbe	Treffer pro Jahr und m ²
Rot	mehr als 10 ⁻²
Orange	zwischen 10 ⁻³ und 10 ⁻²
Gelb	zwischen 10 ⁻⁴ und 10 ⁻³
Blau	zwischen 10 ⁻⁵ und 10 ⁻⁴

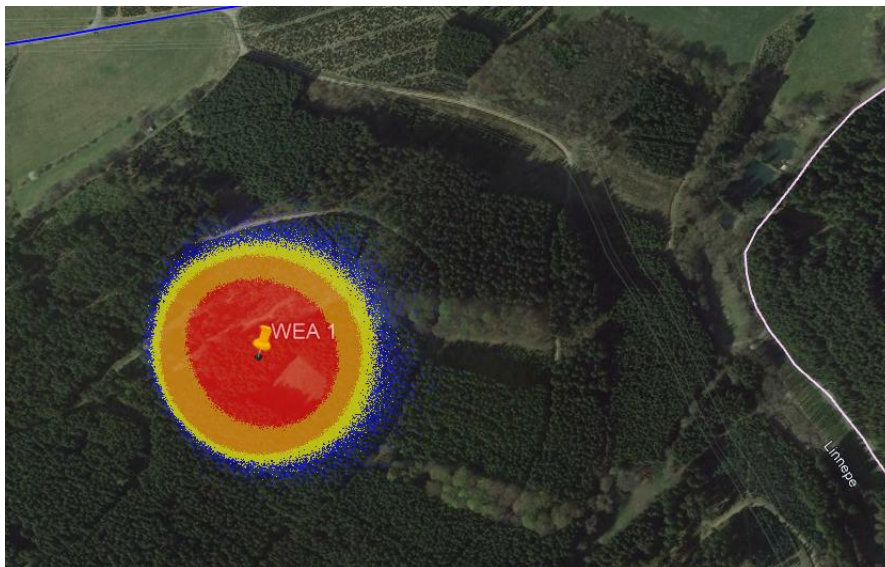


**Abbildung 5: Trefferbild von Eisstücken bei Eisfall mit Auftreffenergie > 28,1 J um die WEA 1.
Die Eistreffer liegen visuell weitab der Schutzobjekte im Norden bzw. Osten.**

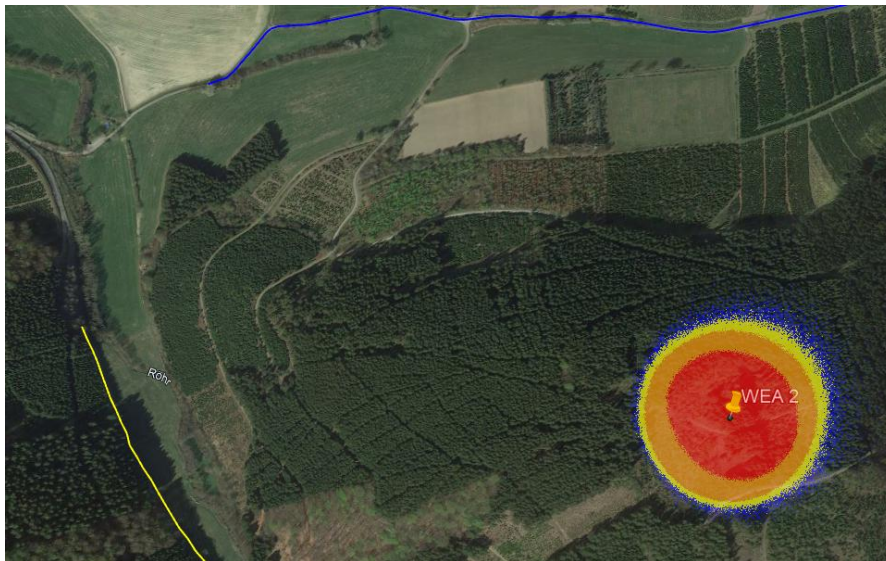


Abbildung 6: Trefferbild von Eisstücken bei Eisfall mit Auftreffenergie $> 28,1$ J um die WEA 2. Die Eistreffer liegen visuell weitab der Schutzobjekte im Norden bzw. Westen.

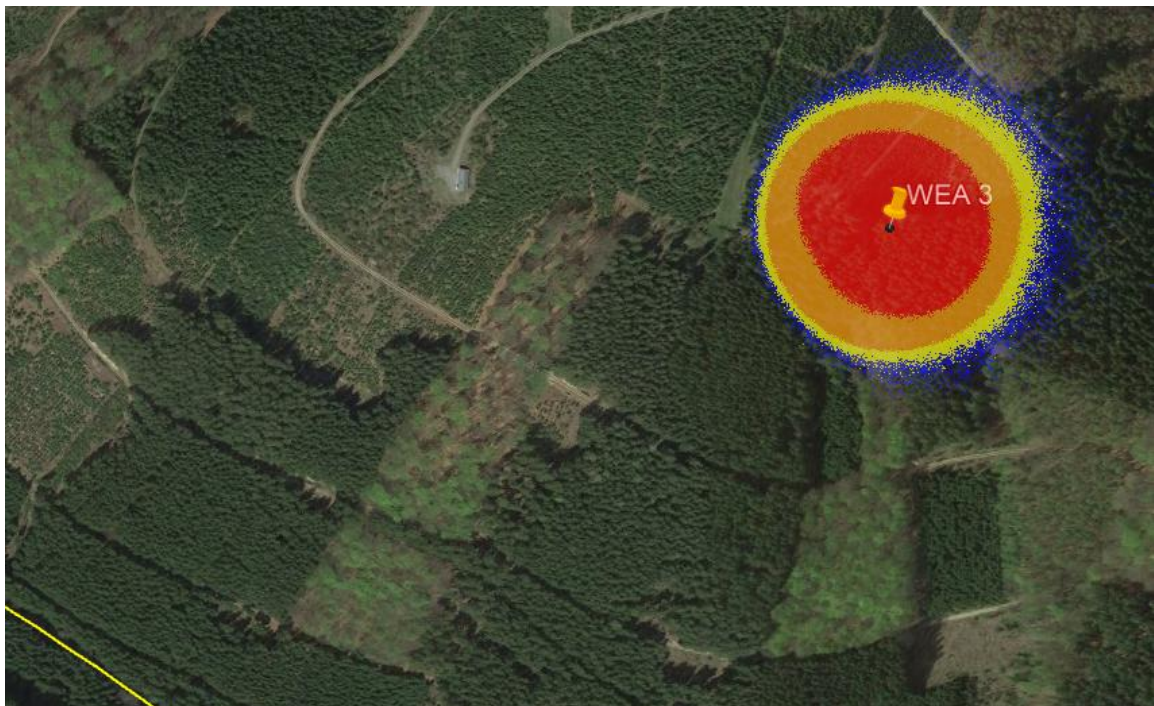


Abbildung 7: Trefferbild von Eisstücken bei Eisfall mit Auftreffenergie $> 28,1$ J um die WEA 3. Die Eistreffer liegen visuell weitab der Schutzobjekte im Südwesten.



Abbildung 8: Trefferbild von Eisstücken bei Eisfall mit Auftreffenergie > 28,1 J um die WEA 4. Die Eistreffer liegen visuell weitab der Schutzobjekte im Osten.

Alle vier Abbildungen der Trefferbilder bei Eisfall deuten darauf hin, dass keines der Schutzobjekte getroffen wurde.

Die programmatische Auszählung bestätigt, dass keine der vier WEA bei Eisfall Treffer mit Auftreffenergie mindestens 28,1 J auf irgendeines der vier Schutzobjekte hat.

Damit besteht bei Eisfall kein Todesrisiko durch irgendeine der WEA.

4.5 Aus- und Bewertung Eiswurf

Es ändern sich beim Eiswurf in Bezug auf den Eisfall nur die Trefferzahlen auf die Schutzobjekte.

Wieder werden nur Eisstücke mit einer Auftreffenergie von mindestens 28,1 J betrachtet.

Die Trefferbilder für Eiswurf zeigen nun ein anderes Ergebnis im Vergleich zum Eisfall.

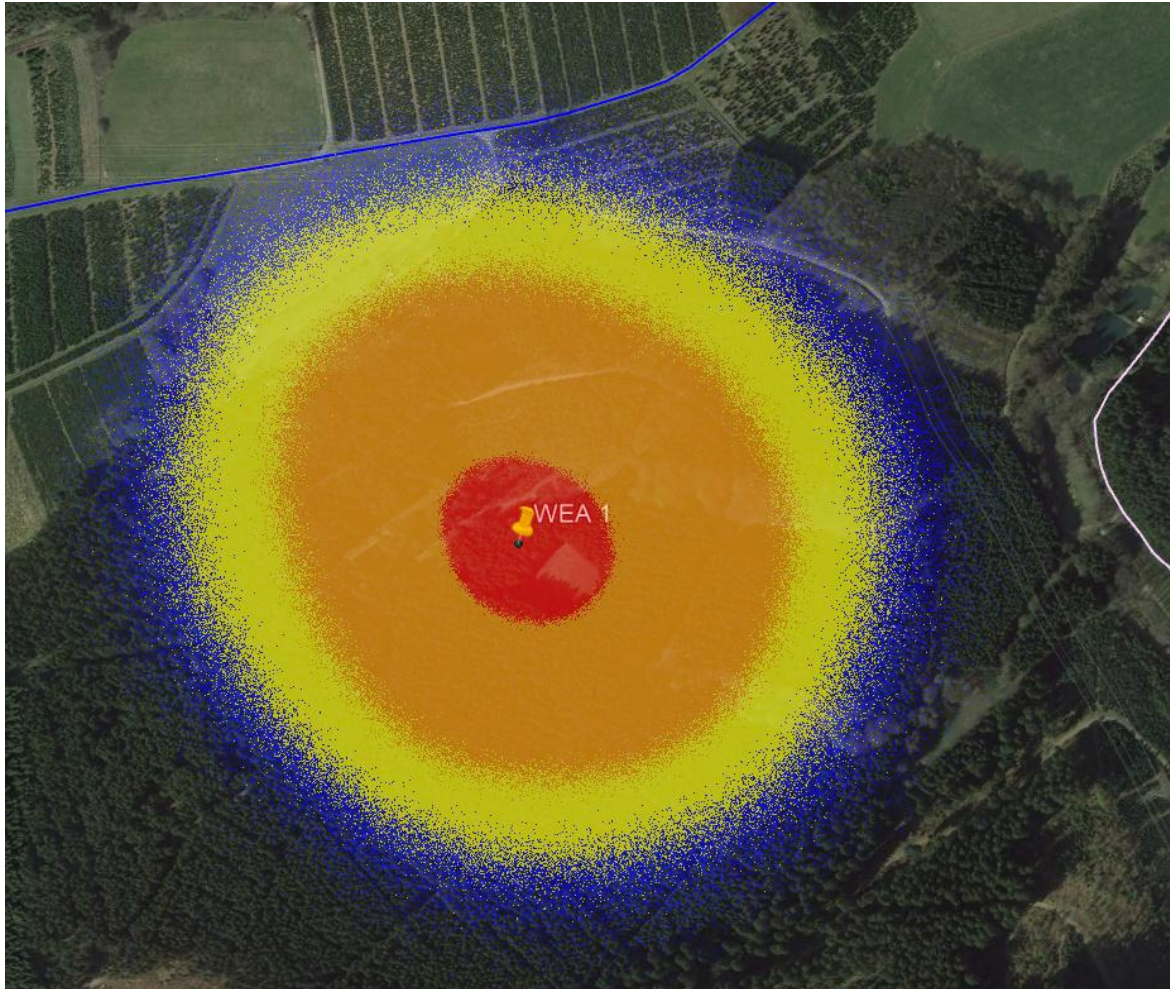


Abbildung 9: Trefferbild von Eisstücken mit Auftreffenergie > 28,1 J bei Eiswurf um die WEA 1.

Die Eisstücke fliegen wesentlich weiter als bei Eisfall (Abbildung 5). Das ist durch die mitgegebene höhere Anfangsgeschwindigkeit aufgrund der höheren Drehzahl begründet. Der Abstand der Eistreffer der WEA 1 von der K 24 Ost ist immer noch deutlich, aber der Weg Endorf – Linneperhütte wird von Ausläufern im blauen Bereich getroffen, so dass auf diesem Schutzobjekt mit einigen Treffern zu rechnen ist.

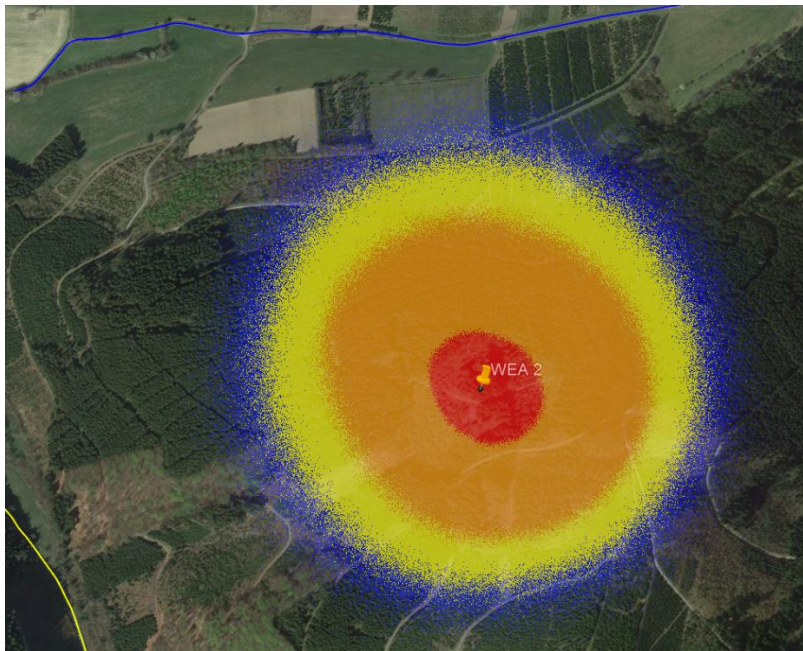


Abbildung 10: Trefferbild von Eisstücken mit Auftreffenergie > 28,1 J bei Eiswurf um die WEA 2.

Auch beim Trefferbild der WEA 2 erkennt man die deutlich größere Verbreitung der Eistref-fer. Trotzdem werden der Weg Endorf – Linneperhütte im Norden und die L 519 im Westen visuell deutlich verfehlt, einige wenige Ausläufer könnten im Norden den Weg Endorf – Linneperhütte eventuell erreichen.

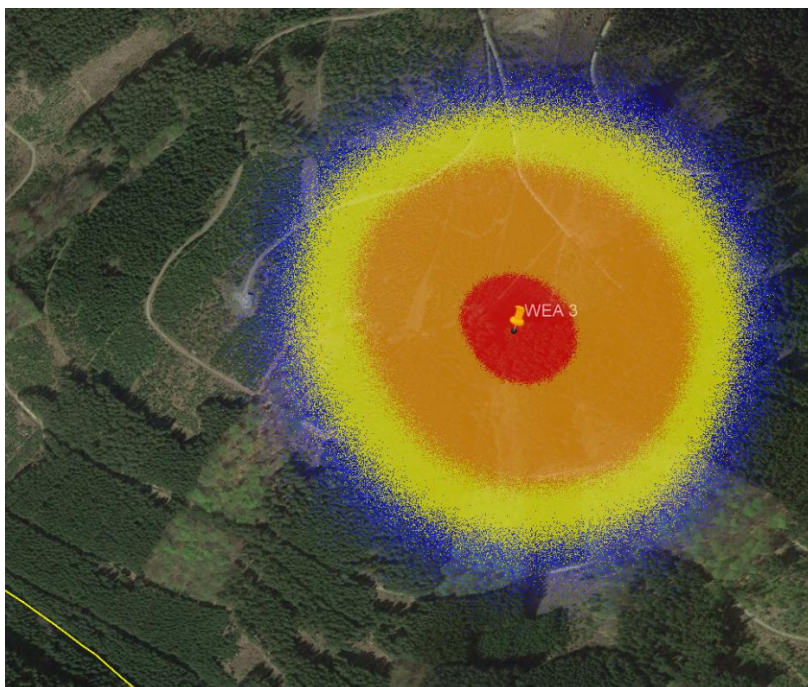


Abbildung 11: Trefferbild von Eisstücken mit Auftreffenergie > 28,1 J bei Eiswurf um die WEA 3.

Die WEA 3 verfehlt auch bei Eiswurf die L 519 im Südwesten deutlich.

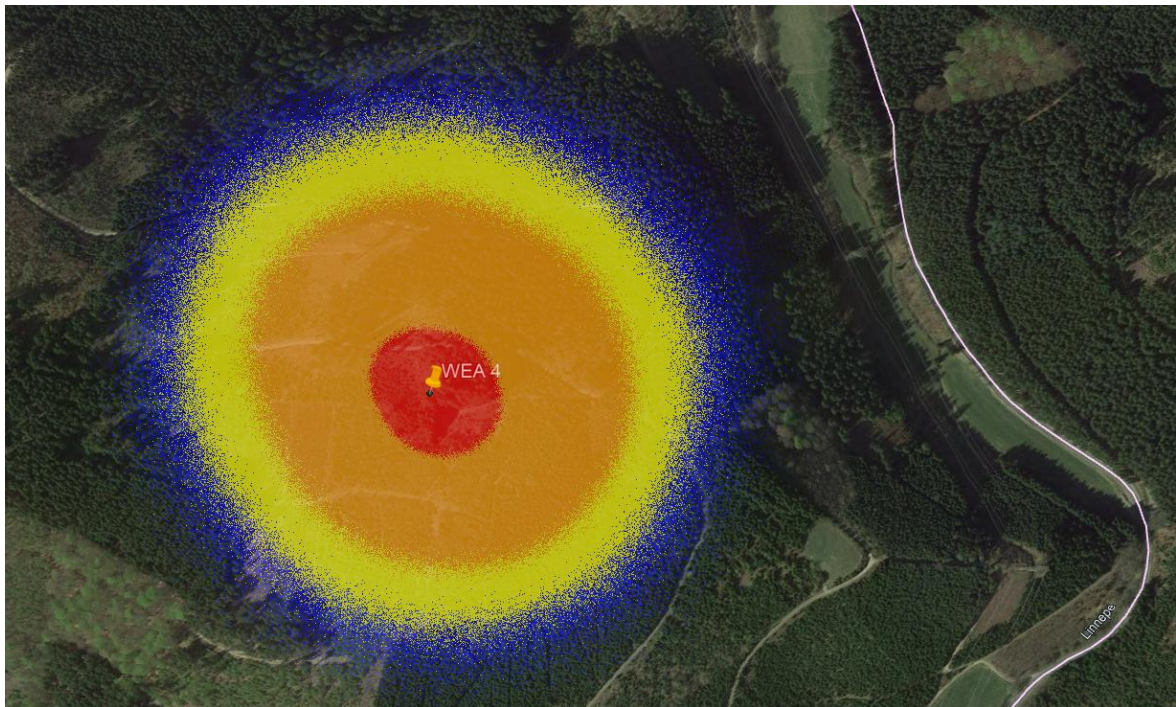


Abbildung 12: Trefferbild von Eisstücken mit Auftreffenergie > 28,1 J bei Eiswurf um die WEA 4.

Die WEA 4 kommt nun mit ihren Treffern näher an die K 24 Ost heran als noch bei Eisfall (Abbildung 8), aber der Abstand ist visuell immer noch deutlich.

Die programmatische Auszählung der Treffer ergibt nun folgendes:

Nur die WEA 1 hat bei Eiswurf Treffer mit Auftreffenergie mindestens 28,1 J auf ein Schutzobjekt, und zwar auf den Weg Endorf – Linneperhütte.

Es ergibt sich folgende Tabelle:

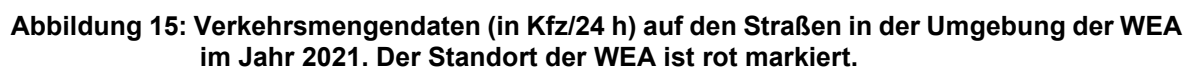
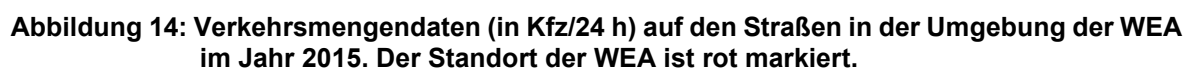
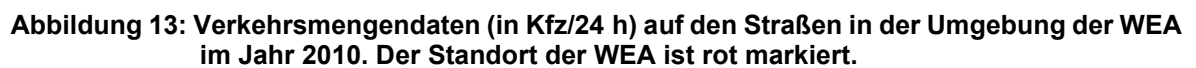
Tabelle 4: Häufigkeit (p_T), mit denen WEA 1 den Weg Endorf – Linneperhütte trifft. Andere Kombinationen von WEA und Schutzobjekt haben keine solchen Treffer mit Auftreffenergie mindestens 28,1 J

WEA	Schutzobjekt	p_T
WEA 1	Weg Endorf – Linneperhütte	$1,51 \cdot 10^{-5}$

Die für die Berechnung der Todeswahrscheinlichkeit p_R bei Eiswurf nach Formel 1 nötigen Werte p_F und M_F müssen im Weiteren ermittelt werden. Dies geschieht durch die Betrachtung von Verkehrsdaten für das Schutzobjekt.

Die zuständigen Behörden der Bundesländer ermitteln alle 5 Jahre u.a. die Verkehrsstärkedaten auf Straßen in ihrem Bundesland. Die letzten Verkehrszählungen in Nordrhein-Westfalen waren 2010, 2015 und 2021.

Die folgenden 3 Abbildungen von /11/ zeigen die bestimmten Verkehrsstärken (in Kfz/24 h) in der Umgebung des geplanten Windparks.



Der Weg Endorf – Linneperhütte ist auf keiner dieser Karten verzeichnet. Die Verkehrsstärken für die K 24 Ost, an die der Weg in Linneperhütte grenzt, ist auch nur in der Karte für 2010 verzeichnet. Dieses Jahr ist jedoch das mit den höchsten Verkehrsstärken auf allen Straßen in der Umgebung der WEAs, deshalb wird dieses Jahr zugrunde gelegt.

Der Weg Endorf – Linneperhütte ist ein befestigter Weg, aber in seiner Bedeutung deutlich geringer als die K 24. Das Verhältnis der Verkehrsstärken von L 519 (1782 Kfz/24 h) zu K 24 Ost (488 Kfz/24 h) im Jahr 2010 liegt bei ca. 3,5. Setzt man dieses Verhältnis auch für die Verkehrsstärken von K 24 Ost zum Weg Endorf – Linneperhütte an, erhält man 140 Kfz/24 h für den Weg Endorf – Linneperhütte als Abschätzung.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Verkehrsdaten bei der letzten Zählung geringer waren und im Winter der Verkehr geringer als im Jahresmittel ausfällt, ist dieser Wert eine konservative Abschätzung für die Zukunft.

Auf diesem Weg werden im Winter bei Eiswetter 30 km/h als mittlere Geschwindigkeit angenommen (geringe Geschwindigkeiten sind für die Berechnung konservativ).

Eine Straße ist nicht vollständig von Kfz ‚bedeckt‘, der mittlere Abstand von einem Kfz zum nächsten lässt sich durch die Formel $l_w = v \cdot 24h/h_v$ berechnen. Bei einer Breite b_w der Straße ist damit ein Kfz auf einer Fläche der Größe $A_w = l_w \cdot b_w$ allein (d.h. kein anderes Kfz ist dort).

Findet auf dieser Fläche ein Eistreffer statt, ist das Kfz nur dann betroffen, wenn die für das Kfz relevante Fläche A_F getroffen wird. Diese ergibt sich als Produkt der Breite b_F und der (relevanten) Länge l_F des Kfz. Treffer auf Ladeflächen von LKW verursachen kein Risiko für Personenschäden, es wird dieselbe relevante Länge wie für PKW angenommen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Eistreffer auf der Straße also tatsächlich zu einem Treffer auf ein Kfz führt, ist damit $p_F = A_F / A_w$.

Die Fahrzeuglänge $l_F = 4,5$ m entspricht der Länge eines PKW bzw. des Führerhauses eines LKW. Die Fahrzeugbreite von $b_F = 2,5$ m entspricht dem Mittel der maximalen Breite von PKW (2,3 m) und LKW (2,7 m).

Zusätzlich spielt die mittlere Anzahl der Personen in dem Fahrzeug (M_F) eine Rolle, denn bei einem Eistreffer mit Unfall sind diese auch betroffen. Für Kfz liegt dieser Wert in Deutschland im Mittel bei 1,4 Personen, nach /12/ Seite 3.

Tabelle 5: Berechnung der getroffenen Personen auf dem Weg Endorf – Linneperhütte je Eistreffer darauf

beeinflussender Faktor	Einheit	Quelle	Weg Endorf – L.hütte
Verkehrsaufkommen h_v	Kfz/24 h	Annahme	140
Fahrgeschwindigkeit v	km/h	geschätzt	30
Länge mittler Abstand l_w	m	berechnet: $v \cdot 24h / h_v$	5.143
Wegbreite b_w	m	Google Earth	3
Wegfläche mit 1 Fahrzeug A_w	m ²	berechnet: $l_w \cdot b_w$	15.429
relevante Länge Fahrzeug l_f	m	Fahrzeugdaten	4,5
relevante Breite Fahrzeug b_f	m	Fahrzeugdaten	2,5
Trefferfläche Fahrzeug A_f	m ²	berechnet: $l_f \cdot b_f$	11,25
Trefferwahrscheinlichkeit Fahrzeug p_f	[-]	berechnet: A_f/A_w	$7,29 \cdot 10^{-4}$
Anzahl Personen je Fahrzeug M_f	[-]	Statistik	1,4
getroffene Personen je Eistreffer auf Weg		berechnet: $p_f \cdot M_f$	$1,02 \cdot 10^{-3}$

Mit diesen Daten kann nun das Todesrisiko durch Eiswurf nach Formel 1 berechnet werden:

Tabelle 6: Todesrisiko p_R pro Jahr durch die WEA bei Eiswurf. Nicht aufgeführte Kombinationen aus WEA und Schutzobjekt haben kein Risiko

WEA	Schutzobjekt	p_w	p_T	$p_f \cdot M_f$	p_R
WEA 1	Weg Endorf – Linneperhütte	2206	$1,51 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$

Dieser Wert liegt bei unter 4% des relevanten Grenzwertes für das Gruppenrisiko und ist damit akzeptabel.

Da die WEA 1 einzige WEA mit relevanten Treffern auf Schutzgebiete bei Eiswurf war, **können alle 4 WEA im Winter ohne Abschaltung bei Eis auf den Blättern betrieben werden.**

5 Quellenverzeichnis

- /1/ DIBt, (19. 01. 2021), Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) Ausgabe 2020/1, Berlin
- /2/ Deutsches Institut für Normung, (2000), DIN EN 50126, Bahnanwendungen, Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS), Berlin
- /3/ Kartenausschnitt von <https://www.openstreetmap.org/relation/157395#map=15/51.28777/8.07036>, abgerufen am 30.10.2025
- /4/ 2025, Nordex Energy SE & Co. KG.
9003491_08_F008_278_A15_IN_R08_Nordex_N175_6.X.pdf
- /5/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, (29.05.2024); Bericht 8118 365 241 D Rev.2; Untersuchung der Funktionalität und Zuverlässigkeit des in NORDEX Windenergieanlagen installierten Eiserkennungssystems IDD.Blade der Firma Wölfel
- /6/ Geoportal NRW, <https://www.geoportal.nrw/?activetab=map>; 15 Kacheln abgerufen am 24.10.2025
- /7/ Wichura, B, (2013), The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icing 2013_IWAIS_Proceedings, Potsdam,
- /8/ Kaschuba, M, (2008), Abgerufen am 7. Mai 2025 von Hagelskala mit typischen verursachten Schäden: <https://www.skywarn-schulungcenter.de/lernhilfen/pdf/Hagel-Skala.pdf>
- /9/ J,Dessens, C, B, (02 2007), A point hailfall classification based on hailpad measurements: The ANELFA scale, Atmospheric Research, Volume 83, Issues 2–4, Pages 132-139, doi:Pages 132-139
- /10/ EU, (31. 08. 2010), Official Journal of the European Union, Regulation No 43 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) —, Von [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42010X0831\(04\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42010X0831(04)) am 17.07.2025 abgerufen
- /11/ Straßen.NRW, <https://www.strassen.nrw.de/de/periodische-verkehrszaehlungen.html>; Karten „Verkehrsstärkenkarte_2010.pdf“, „Verkehrsstärkenkarte 2015 mit Hinweisen.pdf“ und „Verkehrsstärkenkarte 2021.pdf“ heruntergeladen am 24.10.2025
- /12/ infas, DLR, IVT und infas360, (Februar 2019), Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI), Bonn, Abgerufen am 22. November 2024 von https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf