



Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort Oelde

Referenz-Nummer:

2022-G-039-P4-R0 - gekürzte Fassung

Auftraggeber:

Craemer Holding GmbH
Brocker Straße 1, 33442 Herzebrock-Clarholz

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige,

Hamburg, 14.11.2022

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 14.11.2022

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680

Fax: 040 53303680-79

Rebecca Bode: bode@f2e.de oder Dr. Thomas Hahm: hahm@f2e.de

Urheber- und Nutzungsrecht:

Urheber des Gutachtens ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Veröffentlichung und Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPG §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPG §20 Absatz (1) wird gestattet.



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Aufgabenstellung..... | 3 |
| 2 | Grundlagen..... | 4 |
| 2.1 | Vereisung..... | 4 |
| 2.2 | Regelungen in den Normen..... | 5 |
| 2.3 | Grenzwerte und Risikobewertung..... | 7 |
| 2.3.1 | Grenzwerte individuelles Risiko..... | 7 |
| 2.3.2 | Grenzwerte kollektives Risiko..... | 9 |
| 2.3.3 | Risikobewertung..... | 10 |
| 2.3.4 | Risikomindernde Maßnahmen..... | 13 |
| 2.3.5 | Addition von Risiken..... | 15 |
| 2.4 | Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken..... | 16 |
| 2.5 | Vereisungshäufigkeiten..... | 17 |
| 2.6 | Gültigkeit der Ergebnisse..... | 18 |
| 2.7 | Systeme zur Prävention und Enteisung..... | 19 |
| 2.8 | Verwendete Begriffe und Symbole..... | 20 |
| 3 | Eingangsdaten..... | 21 |
| 3.1 | Ausgangssituation..... | 21 |
| 3.2 | Winddaten am Standort..... | 21 |
| 3.3 | Windparkkonfiguration und Schutzobjekte..... | 22 |
| 3.4 | Aufenthaltshäufigkeiten..... | 24 |
| 3.5 | Vereisungsrelevante WEA-Systeme..... | 26 |
| 3.5.1 | WEA-interne Eiserkennungssysteme..... | 26 |
| 3.5.2 | Optionale Eiserkennungssysteme..... | 26 |
| 3.5.3 | Systeme zur Prävention und Enteisung..... | 26 |
| 3.5.4 | Betriebsführungssystem..... | 27 |
| 3.6 | Risikoreduzierende Maßnahmen..... | 27 |
| 4 | Durchgeführte Untersuchungen..... | 27 |
| 4.1 | Standortbesichtigung..... | 27 |
| 4.2 | Vereisungsbedingungen am Standort..... | 27 |
| 4.3 | Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche..... | 28 |
| 4.4 | Eiswurf..... | 30 |
| 4.5 | Eisfall..... | 30 |
| 5 | Weitere Maßnahmen..... | 32 |
| 5.1 | Eisfall..... | 32 |
| 6 | Zusammenfassung..... | 34 |
| 7 | Formelzeichen und Abkürzungen..... | 37 |
| 8 | Literaturangaben..... | 38 |



| | |
|---|----|
| Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall..... | 40 |
| A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten..... | 40 |
| A.2 Schadenshäufigkeiten..... | 41 |

1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall ausgehend von sich in Betrieb befindlichen bzw. stillstehenden (trudelnden) Windenergieanlagen (WEA) zu betrachten und zu bewerten.



3 Eingangsdaten

3.1 Ausgangssituation

Am Standort Oelde (Nordrhein-Westfalen) plant der Auftraggeber die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 1).

Am Standort befinden sich keine weiteren benachbarten WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration und die Schutzobjekte sind in Tabelle 3.3.1 bzw. Abbildung 3.3.1 dargestellt.

In der Umgebung befinden sich verschiedene Freiflächen des Gewerbegebiets Aurea, die Straße „Aurea“ und der begleitende Radweg, welche im Rahmen dieser Untersuchung in Abstimmung mit dem Auftraggeber als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.3.1).

Die WEA 1 liegt in unmittelbarer Nähe zu den Schutzobjekten und wird im Folgenden hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall betrachtet.

3.2 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /3.1/ entnommen. Datengrundlage zur Abschätzung des Windpotentials am Standort Oelde bilden die Daten des anemos Windatlas für Deutschland mit einer räumlichen Auflösung von 3km und einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten. Der Referenzzeitraum deckt 20 Jahre von 2001 - 2021 ab /3.1/.

Entsprechend den Empfehlungen aus /2.1/ wurden die Daten für Perioden gefiltert, bei denen Eiswurf oder Eisfall potentiell auftreten kann. Die gefilterten Daten sind in Tabelle 3.2.1 aufgetragen und werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung bei potentiellen Vereisungsbedingungen am Standort Oelde vorausgesetzt.

Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen. Die Weibull-Parameter werden dabei soweit notwendig auf die jeweilige Nabenhöhe der WEA umgerechnet.




Tabelle 3.2.1: Winddaten am Standort (*f*: Häufigkeit der Windrichtung; *A* und *k*: Skalen- und Formparameter der Weibull-Verteilung).

| Wind-Datensatz Nr. | Parameter | N | NNO | ONO | O | OSO | SSO | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 32) | |
|--------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|----------|
| | | | | | | | | | | | | | | Höhe über Grund [m] | |
| | A [m/s] | 5.86 | 6.30 | 7.11 | 8.05 | 8.40 | 6.96 | 7.26 | 9.70 | 10.03 | 9.34 | 8.48 | 6.34 | Höhe über Grund [m] | 164 |
| | k [-] | 2.240 | 2.660 | 3.060 | 2.910 | 2.930 | 2.680 | 2.190 | 2.860 | 2.820 | 2.730 | 2.710 | 2.200 | Ost | 32445077 |
| | f (100% = 1) | 0.044 | 0.064 | 0.105 | 0.109 | 0.093 | 0.052 | 0.047 | 0.078 | 0.152 | 0.124 | 0.084 | 0.049 | Nord | 5742561 |

3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Tabelle 3.3.1: Windparkkonfiguration.

| | Lfd. Nr. WEA | Bezeichnung | Hersteller WEA-Typ | P _N [MW] | NH [m] | RD [m] | Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 32) | | Wind-Datensatz Nr. |
|---|-----------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|-----------|---|---------|--------------------|
| | | | | | | | East | North | |
|  | 1 | WEA 1 | Nordex N163/6.X | 6.80 | 164.00 | 163.00 | 32445077 | 5742561 | 1 |

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.3.1.

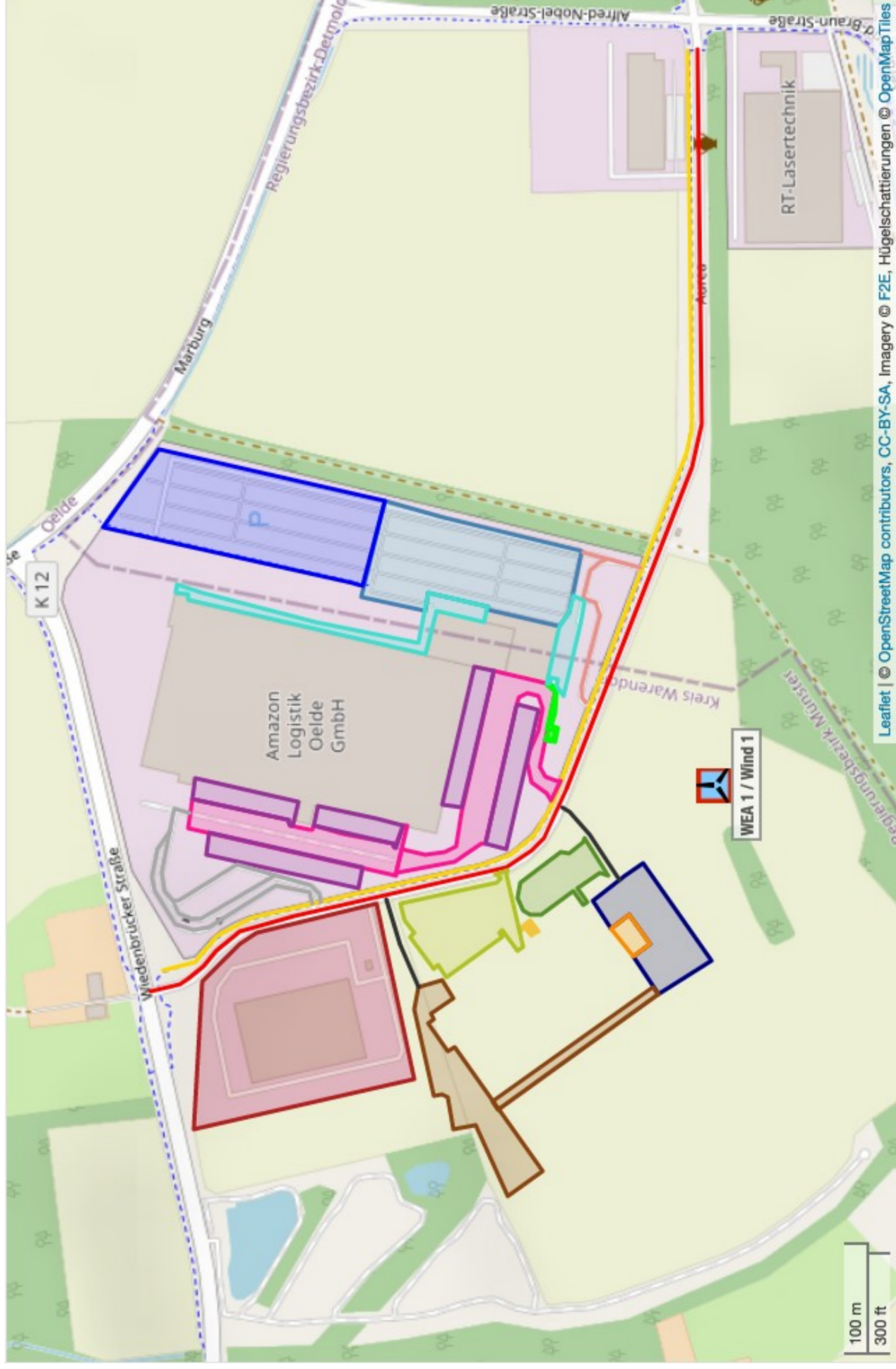


Abbildung 3.3.1:

Lage des Standortes, Karte /1.4./.

zu bewertende WEA

zu berücksichtigende

WEA

weitere WEA

Referenzpunkt der

Winddaten

Schutzobjekte:

rot: Straße „Aurea“

gelb: Radweg

rotbraun: Grundstück Fine Decor

Amazon:

grau: Zufahrten Nord

rosa: Zufahrten Parkplatz

graublau: Parkplatz Süd

blau: Parkplatz Nord

türkis: Freiflächen

pink: Fahr-/Rangierbereiche

lila: Stellflächen

neongrün: Zugang Pfortnerhaus

Craemer:

schwarz: Zufahrten

dunkelgrün: LKW-Parkplatz

hellgrün: Parkplatz

gelb: Freifläche Fahrradständer

braun: Verladebereiche West/Nord

dunkelblau: Verladebereich Süd

orange: Verladerrampe



3.4 Aufenthaltshäufigkeiten

Tabelle 3.4.1: Verkehrs- und Personenaufkommen auf den Verkehrswegen im Bereich der WEA.

| Verkehrsweg | Verkehrsaufkommen | | | Personenaufkommen | | | | Kritisches Individuum |
|--------------------------------|-------------------|------|---------------------------------|-------------------|-----------|--|-------------------|-----------------------|
| | Kfz/Tag | km/h | Individuelle Nutzungshäufigkeit | Personen/ Tag | | Individuelle Nutzungshäufigkeit*** | | |
| | | | | Radfahrer | Fußgänger | Radfahrer | Fußgänger | |
| Straße Aurea | ---* | 50** | --- | 50 | 50 | zweimal täglich | zweimal pro Woche | Radfahrer |
| Radweg | --- | --- | --- | 150 | 50 | zweimal täglich | zweimal täglich | Fußgänger |
| Amazon – Zuwegung Parkplatz | ---* | 10* | --- | 100 | 50 | zweimal täglich | zweimal täglich | Fußgänger |
| Craemer – Zufahrt Süd | ---* | 10* | --- | 50 | 50 | alle zwei Tage | alle zwei Tage | Fußgänger |
| Freiflächen | Kfz/Tag | km/h | | Nutzer | | Individuelle Nutzungshäufigkeit*** | | |
| Amazon - Parkplatz Süd | ---* | 10* | | 340 | | 10min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Amazon - Freiflächen | ---* | 10* | | 40 | | 5min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Amazon - Fahr-/Rangierbereiche | ---* | 10* | | 40 | | 10min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Amazon - Stellflächen | ---* | 10* | | 20 | | 10min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |



| Verkehrsweg | Verkehrsaufkommen | | | Personenaufkommen | | | | Kritisches Individuum |
|-------------------------------------|-------------------|------|---------------------------------|---|-----------|--|-----------|-----------------------|
| | Kfz/Tag | km/h | Individuelle Nutzungshäufigkeit | Personen/ Tag | | Individuelle Nutzungshäufigkeit*** | | |
| | | | | Radfahrer | Fußgänger | Radfahrer | Fußgänger | |
| Freiflächen | Kfz/Tag | km/h | | Nutzer | | Individuelle Nutzungshäufigkeit*** | | |
| Amazon – Zugang Pförtnerhäuschen | --- | --- | --- | einer aus einer Gruppe von zwei Nutzern | | 20min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Craemer - LKW-Parkplatz | ---* | 10* | 10* | 24 | | 10min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Craemer - Parkplatz | ---* | 10* | 10* | 200 | | 10min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Craemer – Freifläche Fahrradständer | --- | --- | --- | 20 | | 5min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Craemer – Verladebereich West | ---* | 10* | 10* | 20 | | 2h pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Craemer – Verladebereich Süd | ---* | 10* | 10* | 30 | | 20min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |
| Craemer - Verladerampe | ---* | 10* | 10* | 30 | | 20min pro Nutzer auf der gesamten Fläche | | Mitarbeiter |

---* Bis zu einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50km/h kann das Risiko für Personen innerhalb des Fahrzeuges vernachlässigt werden (siehe Kapitel 2.3.1).

* Aufgrund der Nutzung angenommen.

** Aufgrund lokaler Geschwindigkeitsbegrenzung.

*** Annahmen und Nutzungshäufigkeiten beziehen sich auf Zeiträume mit Vereisungsbedingungen.



Tabelle 3.4.1 enthält alle Angaben zum Verkehrs- und Personenaufkommen, die in den nachfolgenden Risikobewertungen für die Verkehrswege berücksichtigt werden. Für Fußgänger und Radfahrer werden die jeweiligen Geschwindigkeiten mit 5km/h bzw. 15km/h zugrunde gelegt. Für Wege, für die nach Kapitel 2.3.3 das individuelle Risiko maßgeblich ist, wird ein kritisches Individuum ermittelt und in Tabelle 3.4.1 aufgeführt.

3.5 Vereisungsrelevante WEA-Systeme

3.5.1 WEA-interne Eiserkennungssysteme

Die WEA 1 ist mit dem Nordex-Eiserkennungssystem bestehend aus drei unabhängigen Verfahren zur Erkennung von Eisansatz ausgerüstet /3.2/. Dabei wird Eisansatz entweder durch Vibrationen infolge ungleichmäßigen Eisansatzes, durch eine Abweichung von der Soll-Kennlinie aufgrund verschlechterter Aerodynamik oder durch eine Differenz zwischen der Schalensternanemometer- und der Ultraschallanemometer-Messung aufgrund vereister Anemometerschalen detektiert /3.2/.

3.5.2 Optionale Eiserkennungssysteme

Die WEA 1 ist zusätzlich mit dem Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel zur Erkennung von Eisansatz ausgerüstet. Dabei wird Eisansatz aufgrund der dadurch veränderten bauteilcharakteristischen Kennwerte wie der Eigenfrequenz des Rotorblattes detektiert /3.2/.

Gemäß /3.3/ entspricht das System dem Stand der Technik und alle Ergebnisse sprechen dafür, dass eine Eisdicke erkannt wird, die geringer als die individuelle kritische Eisdicke ist. Erst ab einer kritischen Eisdicke besteht eine Gefahr für ungeschützte Personen /3.3/. In /3.3/ wurde die Kompatibilität von IDD.Blade mit den Nordex Betriebsführungs- und Sicherheitssystemen geprüft. Danach ist IDD.Blade als Eiserkennungssystem für Windenergieanlagen des Herstellers Nordex geeignet.

Das verwendete System IDD.Blade zur Eiserkennung ist entsprechend der Richtlinie des Germanischen Lloyd für die Zertifizierung von Systemen zur Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen /3.4/ typgeprüft /3.5/.

3.5.3 Systeme zur Prävention und Enteisung

Die betrachteten WEA sind nicht mit einem System zur Enteisung (de-icing) oder einem System zur Reduzierung von Vereisung (anti-icing) ausgestattet.



3.5.4 Betriebsführungssystem

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /3.6/ umgesetzt.

3.6 Risikoreduzierende Maßnahmen

Die im Anhang A dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine risikoreduzierenden Maßnahmen.

4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Standortbesichtigung

Eine Standortbesichtigung ist im Rahmen der Bewertung des Risikos durch Eiswurf oder Eisfall nicht durch ein Regelwerk vorgeschrieben oder geregelt. Eine Standortbesichtigung empfiehlt sich, wenn die Situation vor Ort nicht ausreichend bekannt ist.

Im Rahmen der Standortbesichtigung werden die potentiellen Schutzobjekte vor Ort dokumentiert und besichtigt. Es werden Informationen zur Beschaffenheit der Schutzobjekte, wie z.B. Straßenbelag, Geschwindigkeitsbeschränkungen und Fahrverboten bei Verkehrswegen aufgenommen.

Werden im Rahmen der Standortbesichtigung weitere potentielle Schutzobjekte identifiziert, findet eine Berücksichtigung stets in Absprache mit dem Auftraggeber statt. Maßgeblich sind daher stets die in Kapitel 3.1 aufgeführten Schutzobjekte.

Die Standortbesichtigung dient nicht zur Bestimmung der Aufenthaltshäufigkeit von Personen in oder auf Schutzobjekten, der Bestimmung der Frequentierung von Verkehrswegen, der Bestimmung der Klimatologie des Standortes oder der Verifizierung der Windparkkonfiguration.

Die Schutzobjekte vor Ort wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund der vorhandenen Datenlage zu den Schutzobjekten wurde auf eine Standortbesichtigung verzichtet.

4.2 Vereisungsbedingungen am Standort

Die Vereisungshäufigkeit am Standort wurde entsprechend Kapitel 2.5 ermittelt.

Die Anzahl der insgesamt am Standort zu unterstellenden Eisstücke ergibt sich aus der Anzahl der Eisstücke pro Vereisungsereignis und der Anzahl der Vereisungstage.



Für die WEA ist konservativ davon auszugehen, dass es an allen Vereisungstagen zu einer vollständigen Vereisung der WEA kommt.

In Übereinstimmung mit /2.1/ kann die insgesamt zu berücksichtigende Eismasse abhängig von der Blattgeometrie anhand des Vereisungslastfalles der internationalen Richtlinie für WEA /2.4/ definiert werden. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Masse der Eisstücke lässt sich daraus eine Anzahl Eisstücke pro Vereisung ableiten.

Damit ergeben sich am Standort Oelde die in Tabelle 4.2.1 dargestellten Vereisungsbedingungen.

Tabelle 4.2.1: Vereisungsbedingungen am Standort Oelde .

| Lfd. Nr. WEA | Vereisungs- häufigkeit [%] | Vereisungstage pro Jahr | Eisstücke pro Jahr pro WEA | |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| | | | Eisfall | Eiswurf |
| 1 | 2.0 | 7.3 | 1444 | --- |


4.3 Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche

Für die zu bewertende WEA 1 sind die zu betrachtenden Schutzobjekte, die im potentiellen Gefährdungsbereich der WEA liegen, in Tabelle 4.3.1 aufgeführt.

Tabelle 4.3.1: Zu betrachtende Schutzobjekte.

| | Lfd.Nr. WEA | Potentieller Gefährdungsbereich | |
|--|-------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | Radius [m] | Schutzobjekte im Bereich |
| | 1 | 0.0 | Straße „Aurea“ |
| | | | Radweg |
| | | | Grundstück Fine Decor |
| | | | Amazon – Zufahrten Nord |
| | | | Amazon – Zufahrten Parkplatz |
| | | | Amazon – Parkplatz Süd |
| | | | Amazon – Parkplatz Nord |
| | | | Amazon - Freiflächen |
| | | | Amazon – Fahr-/ Rangierbereiche |
| | | | Amazon - Stellflächen |
| | | | Amazon – Zugang Pfortnerhäuschen |
| | | | Craemer – Zufahrt Nord |



| | Lfd.Nr. WEA | Potentieller Gefährdungsbereich | |
|---|-------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| | | Radius [m] | Schutzobjekte im Bereich |
|  | 1 | 326.9 | Craemer – Zufahrt Süd |
| | | | Craemer - LKW-Parkplatz |
| | | | Craemer - Parkplatz |
| | | | Craemer – Freifläche Fahrradständer |
| | | | Craemer – Verladebereich Nord |
| | | | Craemer – Verladebereich West |
| | | | Craemer – Verladebereich Süd |
| | | | Craemer - Verladerampe |

Der potentielle Gefährdungsbereich der WEA vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) ist in Abbildung 4.3.1 dargestellt.

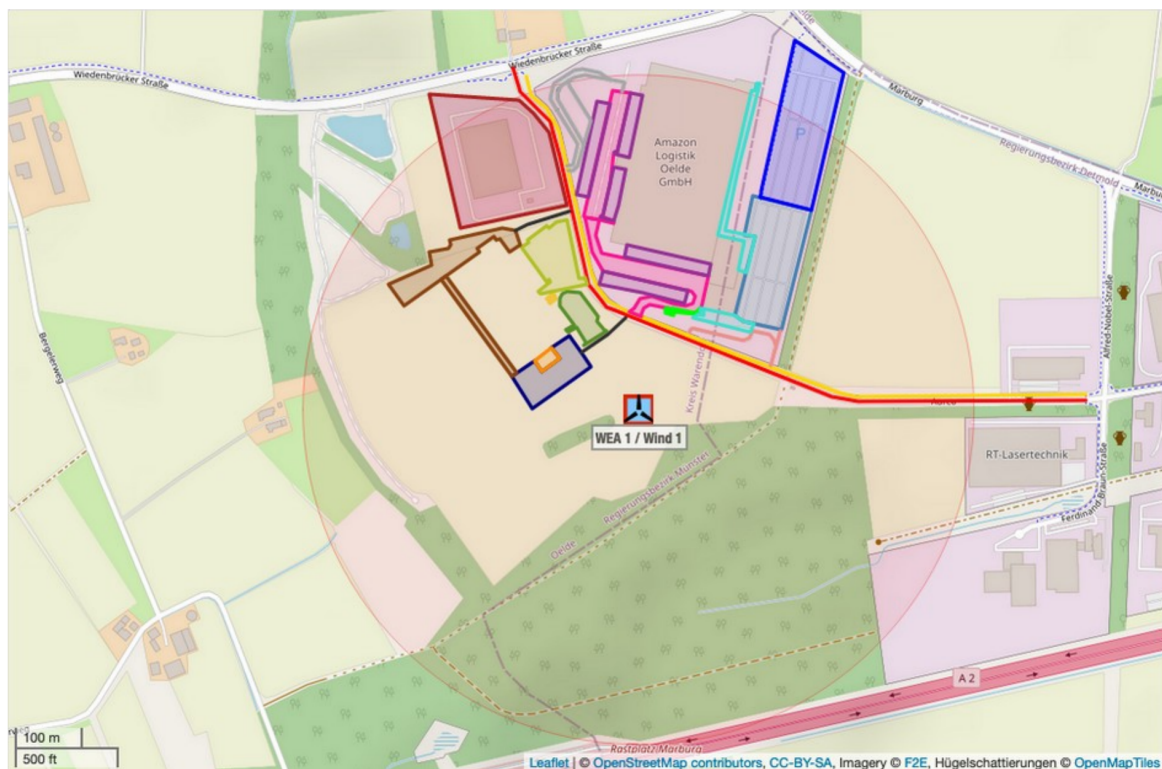


Abbildung 4.3.1: Potentieller Gefährdungsbereich der WEA 1 und Schutzobjekte am Standort Oelde (Karte /1.4/).



4.4 Eiswurf

Aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung kann der Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz weitestgehend ausgeschlossen werden. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu betrachten.

4.5 Eisfall

Entsprechend Kapitel 2.2 ist eine Gefährdung durch Eisfall für Personen in der Umgebung der WEA 1 standortspezifisch zu betrachten, auch wenn eines der in Kapitel 3.5 genannten Systeme zur Eiserkennung zu diesem Zweck genutzt wird.

Aus der in Kapitel 4.2 ermittelten Gesamtanzahl von Eisstücken, der Windgeschwindigkeitsverteilung gemäß Tabelle 3.2.1, der Geometrie und Betriebsweise der WEA sowie der Topografie am Standort, ergeben sich in der Umgebung einer WEA für jeden Punkt unterschiedliche Trefferhäufigkeiten von Eisstücken. Auf Basis dieser Trefferhäufigkeiten ist die spezifische Gefährdung von Personen abhängig von der Wegstrecke, die die Personen bzw. die mit Personen besetzten Fahrzeuge in der Umgebung der WEA nehmen, der Geschwindigkeit, mit der sie sich fortbewegen sowie der Häufigkeit, mit der ein bestimmter Weg genommen wird. Verkehrswege und andere Freiflächen bzw. Gebäude, die keinen Schutz gegen Eisstücke bieten, unterscheiden sich an dieser Stelle nur dahingehend, dass die Wegstrecke bei Verkehrswegen deutlich vorgegeben ist, während sie bei Freiflächen typischerweise durch eine allgemeine Aufenthaltshäufigkeit ersetzt wird.

Eine spezifische Gefährdung lässt sich daher nicht in Form einer Gefährdungskarte in der Umgebung einer WEA darstellen, da für jeden Punkt in der Umgebung einer WEA theoretisch unendlich viele Szenarien denkbar sind. Die Gefährdung ist daher stets in Bezug zu einem Schutzobjekt unter Berücksichtigung der genannten Randbedingungen zu ermitteln.

Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, erfolgt die Bewertung des individuellen und kollektiven Risikos durch eine Einteilung in fünf Bereiche von inakzeptabel bis vernachlässigbar. Dabei werden Schutzobjekte, die in den Berechnungen nicht von Eisstücken getroffen werden, aber im potentiellen Gefährdungsbereich liegen, dem vernachlässigbaren Risiko zugeordnet. Damit ergeben sich bezogen auf die betrachteten WEA folgende Ergebnisse für das Szenario Eisfall.

Es ist in Tabelle 4.5.1 jeweils nur das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko dargestellt (siehe Kapitel 2.3).



Da sich für die Straße „Aurea“, den Radweg und die Teilflächen des Gewerbegebiets das zu betrachtende Risiko nicht eindeutig festlegen lässt, werden sowohl das individuelle als auch das kollektive Risiko betrachtet.

Sind gemäß Kapitel 2.3.5 Risiken verschiedener WEA zu addieren, wird die Bewertung der addierten Risiken in Tabelle 4.5.1 gesondert aufgeführt.

Tabelle 4.5.1: Bewertung der Gefährdung durch Eisfall am Standort Oelde.

| Lfd. Nr. WEA | Schutzobjekt | Kollektives Personenrisiko | Individuelles Personenrisiko |
|--|-------------------------------------|---|---|
| Bewertung der einzelnen WEA: | | | |
| 1 | Straße „Aurea“ | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Radweg | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Grundstück Fine Decor | vernachlässigbar* | vernachlässigbar* |
| | Amazon – Zufahrten Nord | vernachlässigbar* | vernachlässigbar* |
| | Amazon – Zufahrten Parkplatz | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Amazon – Parkplatz Süd | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | allgemein akzeptabel |
| | Amazon – Parkplatz Nord | vernachlässigbar* | vernachlässigbar* |
| | Amazon - Freiflächen | allgemein akzeptabel | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Amazon – Fahr-/ Rangierbereiche | allgemein akzeptabel | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Amazon - Stellflächen | allgemein akzeptabel | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Amazon – Zugang Pfortnerhäuschen | allgemein akzeptabel | tolerierbar - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen |
| | Craemer – Zufahrt Nord | vernachlässigbar* | vernachlässigbar* |
| | Craemer – Zufahrt Süd | allgemein akzeptabel | allgemein akzeptabel |
| | Craemer - LKW-Parkplatz | allgemein akzeptabel | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Craemer - Parkplatz | allgemein akzeptabel | allgemein akzeptabel |
| Craemer – Freifläche Fahrradständer | vernachlässigbar | vernachlässigbar | |



| Lfd. Nr. WEA | Schutzobjekt | Kollektives Personenrisiko | Individuelles Personenrisiko |
|-------------------------------------|-------------------------------|---|---|
| 1 | Craemer – Verladebereich Nord | vernachlässigbar* | vernachlässigbar* |
| | Craemer – Verladebereich West | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich |
| | Craemer – Verladebereich Süd | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | tolerierbar - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen |
| | Craemer - Verladerampe | tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich | tolerierbar - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen |
| Bewertung addierter Risiken: | | | |
| 1 | Route 1 | tolerierbar | tolerierbar |
| | Route 2 | tolerierbar | tolerierbar |

*: Die Ergebnisse zeigen, dass das Schutzobjekt in den Berechnungen nicht von Eisstücken der WEA getroffen wird.

Da die Risiken der geplanten WEA die Grenzwerte nicht deutlich unterschreiten, wurde zusätzlich die Summe der Risiken betrachtet (siehe auch Kapitel 2.3.5). Hierfür wurden zwei repräsentative Routen festgelegt. Route 1 verläuft von Osten kommend über den Radweg und den Parkplatz Nord von Craemer sowie über die Freifläche beim Fahrradständer. Route 2 verläuft von Westen kommend über den Radweg, den Parkplatz Süd von Amazon und die nördliche Freifläche.

Details der zugrunde liegenden Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.

5 Weitere Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen oder im oberen tolerierbaren ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen (siehe Kapitel 2.3.4).

5.1 Eisfall

Da die für die WEA 1 ermittelten Risiken bezüglich Amazon – Zuwegung zum Pförtnerhaus, Craemer – Verladebereich Süd und Craemer - Verladerampe im oberen ALARP-Bereich liegen, ist zu prüfen, ob weitere Maßnahmen in Betracht zu ziehen sind, um das Risiko noch weiter zu senken.

Für die WEA 1 empfehlen wir nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz den Rotor der WEA so auszurichten, dass möglichst wenige Eisstücke die jeweiligen Schutzobjekte treffen und entsprechend den Vorgaben des Herstellers die Azimutposition des



Rotors bis zur maximal möglichen Windgeschwindigkeit beizubehalten. Die erforderlichen Werte sind in Tabelle 5.1.1 dargestellt (zur Definition des Azimutwinkels siehe Abbildung 2.3.4.1).

Tabelle 5.1.1: *Empfohlene Azimut-Positionen nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz für den Rotor der WEA.*

| Lfd. Nr. WEA | Azimutwinkel bei Stillstand [°] |
|-----------------|---------------------------------|
| 1 | 145 |

Wir empfehlen bei Aufenthalt auf den Flächen Craemer – Verladebereich Süd und Craemer - Verladerampe bei entsprechenden Witterungsbedingungen bzw. bei Eisansatz an der WEA das Tragen eines Schutzhelmes.

Unabhängig vom ermittelten Risiko empfehlen wir als generelle Maßnahme für die Wege und Freiflächen in der Umgebung der WEA 1 das Aufstellen von Warnschildern, die die Öffentlichkeit vor einer erhöhten Gefahr durch Eiswurf und Eisfall von Windenergieanlagen warnen.

Weiterhin empfehlen wir ebenfalls unabhängig vom ermittelten Risiko als generelle Maßnahme eine Aufklärung der Mitarbeiter des Gewerbegebiets über die Gefahren von Eisfall und Eiswurf in der Umgebung von WEA.



6 Zusammenfassung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall ausgehend von den stillstehenden (trudelnden) bzw. in Betrieb befindlichen WEA zu betrachten und zu bewerten.

Als Schutzobjekte wurden die Straße „Aurea“, ein parallel verlaufender Radweg und verschiedene Freiflächen des Gewerbegebiets Aurea in der Nachbarschaft der WEA definiert.

Die abschließende Bewertung des Risikos durch Eisfall und Eiswurf ist in Tabelle 6.1 für alle zu bewertenden und zu berücksichtigenden WEA aus Tabelle 3.3.1 bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt.

Maßnahmen, die in den Berechnungen berücksichtigt wurden und entsprechend für die getroffene Aussage unabdingbar sind, werden in der Tabelle 6.1 in den Randbedingungen dargestellt.

Maßnahmen, die zur Verringerung des Risikos umgesetzt werden sollten, werden in Tabelle 6.1 in der Spalte „Maßnahmen zur Risikoreduzierung“ aufgeführt. Eine genauere Erläuterung der Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5.



Tabelle 6.1: Übersicht über die Bewertung des Risikos durch Eisfall und Eiswurf (Risikogrenzwert: - = überschritten, + = noch tolerierbar, ++ = tolerierbar, +++ = allgemein akzeptabel, ≈ 0 = vernachlässigbar).

| Lfd. Nr. WEA | Randbedingungen der Berechnung | | | | | Ergebnisse | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--|
| | Eiserkennungssystem | | | Azimutwinkel nach Abschaltung | Anti- / De-Icing | Schutzobjekt | Bewertung Personenrisiko | Maßnahmen zur Risikoreduzierung (Kapitel 5) |
| | aktiv | Windrichtungs- sektor | Anteil Eiswurf | | | | | |
| 1 | ja | 0 – 360° | 0% | --- | --- | Straße „Aurea“ | ++ | <ul style="list-style-type: none"> • Azimutpositionierung 145° • Warnschilder • Aufklärung der Mitarbeiter des Gewerbegebiets • Schutzhelme auf den Flächen: Craemer – Verladebereich Süd Craemer - Verladerampe |
| | | | | | | Radweg | ++ | |
| | | | | | | Grundstück Fine Decor | ≈ 0 | |
| | | | | | | Amazon – Zufahrten Nord | ≈ 0 | |
| | | | | | | Amazon – Zufahrten Parkplatz | ++ | |
| | | | | | | Amazon – Parkplatz Süd | ++ | |
| | | | | | | Amazon – Parkplatz Nord | ≈ 0 | |
| | | | | | | Amazon - Freiflächen | ++ | |
| | | | | | | Amazon – Fahr-/ Rangierbereiche | ++ | |
| | | | | | | Amazon - Stellflächen | ++ | |
| | | | | | | Amazon – Zugang Pförtnerhäuschen | + | |
| | | | | | | Craemer – Zufahrt Nord | ≈ 0 | |



| Lfd. Nr. WEA | Randbedingungen der Berechnung | | | | | Ergebnisse | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------|--|--|---|
| | Eiserkennungssystem | | | Azimutwinkel nach Abschaltung | Anti- / De-Icing | Schutzobjekt | Bewertung Personenrisiko | Maßnahmen zur Risikoreduzierung (Kapitel 5) |
| | aktiv | Windrichtungs- sektor | Anteil Eiswurf | | | | | |
| 1 | ja | 0 – 360° | 0% | --- | --- | Craemer – Zufahrt Süd Craemer - LKW-Parkplatz Craemer - Parkplatz Craemer – Freifläche Fahrradständer Craemer – Verladebereich Nord Craemer – Verladebereich West Craemer – Verladebereich Süd Craemer - Verloaderampe | +++ ++ +++ ≈ 0 ≈ 0 ++ + + | <ul style="list-style-type: none"> • Azimutpositionierung 145° • Warnschilder • Aufklärung der Mitarbeiter des Gewerbegebiets • Schutzhelme auf den Flächen: Craemer – Verladebereich Süd Craemer - Verloaderampe |



7 Formelzeichen und Abkürzungen

| | | |
|----------|---|-------|
| WEA | Windenergieanlage | |
| RD | Rotordurchmesser | |
| NH | Nabenhöhe | |
| ETRS89 | Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 | |
| UTM | Universale Transversale Mercator Projektion | |
| WGS84 | World Geodetic System 1984 | |
| ü. NN | über Normalnull | |
| MEM | Minimale endogen Sterblichkeit | |
| Kfz | Kraftfahrzeug | |
| | | |
| A | Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung | [m/s] |
| k | Formparameter der Weibullverteilung | [-] |
| v | Windgeschwindigkeit | [m/s] |
| h | Höhe | [m] |
| Θ | Azimutwinkel | [°] |



8 Literaturangaben

Allgemein

- /1.1/ Bengt Tammelin et. al.; Wind Energy Production in Cold climates; Meteorological publications No.41, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, February 2000.
- /1.2/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind Task 19, State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates, Edition October 2012.
- /1.3/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik Heft V 291, Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Bergisch Gladbach, August 2017.
- /1.4/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.5/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2006, Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).
- /1.6/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.
- /1.7/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- /1.8/ Wichura, B., 2013. The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icing, Proceedings of the 15th International Workshop On Atmospheric Icing Of Structures (IWAIS 2013). Compusult Ltd., St. John's, Newfoundland and Labrador, September 8-11, 2013, pp. 303-309.
- /1.9/ HSE, Health and safety Executive. (n.d.); Risk analyses or 'predictive' aspects of comah safety reports guidance for explosives sites - The COMAH Safety Report Process for Predictive Assessment of Explosives Sites, downloaded 2014-08-21; Retrieved from <http://www.hse.gov.uk/comah/>
- /1.10/ Oliver J., Creighton P.; Road Accidents, Bicycle injuries and helmet use: a systematic review and meta-analysis; International Journal of Epidemiology, 2017, 278-292.
- /1.11/ Dirk Proske; Katalog der Risiken, 3. vollständig überarbeitete Auflage; Würenlingen 2021.

Normen

- /2.1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; Technical Report; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; April 2022.
- /2.2/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen - Fassung Juni 2015 bzw. Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) Ausgabe 2019/1 mit Druckfehlerberichtigung vom 7. August 2020.
- /2.3/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.



- /2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).

Projektspezifisch

- /3.1/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; anemos Windatlas für Deutschland, <https://awis.anemos.de/>, Winddaten zum Standort Oelde heruntergeladen am 13.09.2022.
- /3.2/ Nordex Energy GmbH; Allgemeine Dokumentation, Eiserkennung an Nordex Windenergieanlagen, E0003946627, Rev. 03 / 01.04.2021; Hamburg, Deutschland.
- /3.3/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG; Zusammenfassung des Gutachtens zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen; TÜV NORD Bericht Nr.: 8118 365 241 D Rev.1; 09.07.2021; Hamburg, Deutschland.
- /3.4/ DNV GL AS; Certification of condition monitoring, DNVGL-SE-0439:2016-06; June 2016.
- /3.5/ DNV-GL; Type Certificate, Ice Detection System IDD.BLade; Certificate No. TC-DNVGL-SE-0439-03577-2; Hamburg, 2021-06-12.
- /3.6/ Nordex Energy GmbH; Trudelbetrieb bei Eisansatz von Nordex Anlagen; per Email am 26.10.2020.



Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall

A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

In der Abbildung A.1.1 sind die für die Umgebung der WEA resultierenden Treffer pro 16 Quadratmeter und Jahr dargestellt.

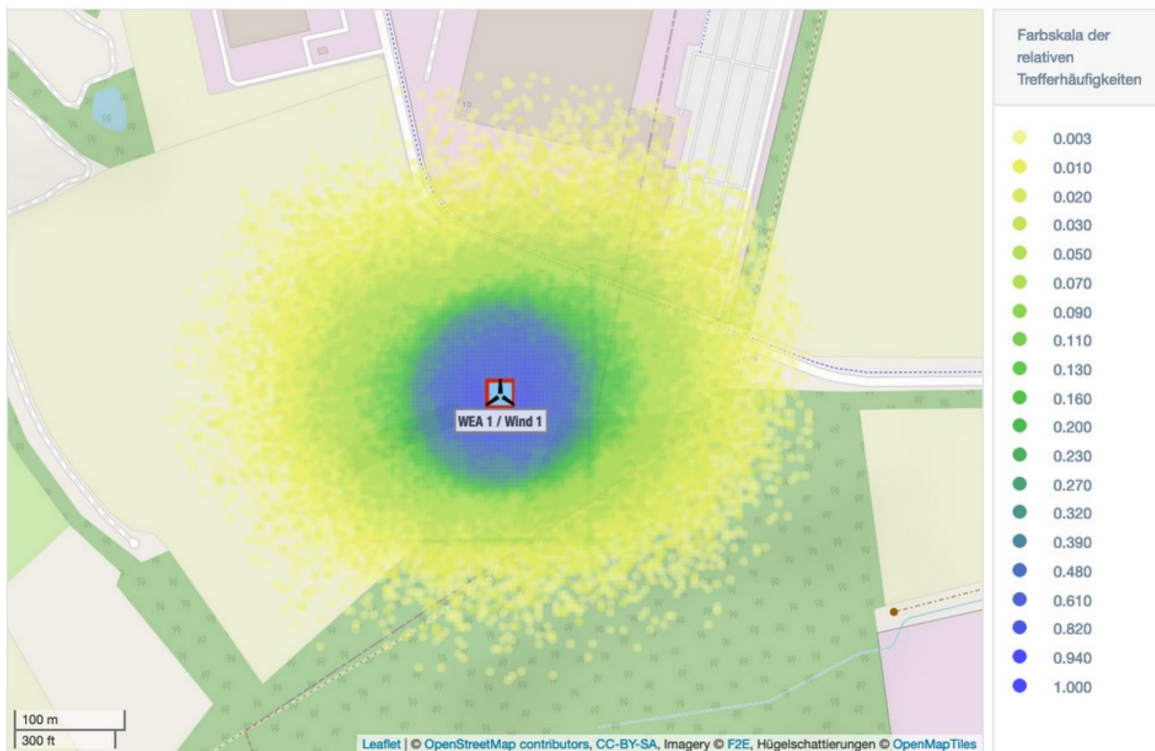


Abbildung A.1.1: Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m²) und Jahr in der Umgebung der WEA 1 am Standort Oelde (Karte /1.4/).

Tabelle A.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Eisstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

Tabelle A.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Eisstücke am Standort Oelde.

| Lfd. Nr. WEA | Maximale Flugweite [m] |
|-----------------|------------------------|
| 1 | 297.9 |



A.2 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die Schutzobjekte im Gefährdungsbereich der zu bewertenden WEA die in Tabelle A.2.1 aufgeführten Ergebnisse.

In Tabelle A.2.1 ist jeweils nur das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko dargestellt.

Relevante Überschreitungen der Risikogrenzwerte gemäß Tabelle 2.3.3.1 bzw. Werte im ALARP-Bereich, die eventuell weitere Maßnahmen erfordern, sind in Tabelle A.2.1 jeweils kursiv gedruckt.

Tabelle A.2.1: Ergebnisse für die kollektiven und individuellen Risiken für Personenschäden am Standort Oelde.

| Lfd. Nr. WEA | Schutzobjekt | Anzahl Treffer pro Jahr | Kollektives Personenrisiko | Individuelles Personenrisiko |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|---|---|
| Risiken pro WEA: | | | | |
| 1 | Straße „Aurea“ | 8.5 | 2.37*10 ⁻⁵ (einmal in 42 000 Jahren) | 2.37*10 ⁻⁷ (einmal in 4.2 Mio. Jahren) |
| | Radweg | 3.6 | 2.98*10 ⁻⁵ (einmal in 33 000 Jahren) | 5.97*10 ⁻⁷ (einmal in 1.6 Mio. Jahren) |
| | Grundstück Fine Decor | 0 | --- | --- |
| | Amazon – Zufahrten Nord | 0 | --- | --- |
| | Amazon – Zufahrten Parkplatz | 2.9 | 1.01*10 ⁻⁵ (einmal in 99 000 Jahren) | 2.42*10 ⁻⁷ (einmal in 4.1 Mio. Jahren) |
| | Amazon – Parkplatz Süd | 1.7 | 1.19*10 ⁻⁵ (einmal in 83 000 Jahren) | 3.51*10 ⁻⁸ (einmal in 28.5 Mio. Jahren) |
| | Amazon – Parkplatz Nord | 0 | --- | --- |
| | Amazon - Freiflächen | 2.1 | 2.83*10 ⁻⁶ (einmal in 353 000 Jahren) | 1.41*10 ⁻⁷ (einmal in 7 Mio. Jahren) |
| | Amazon – Fahr-/ Rangierbereiche | 3.7 | 6.33*10 ⁻⁶ (einmal in 157 000 Jahren) | 1.58*10 ⁻⁷ (einmal in 6.3 Mio. Jahren) |
| | Amazon - Stellflächen | 1.9 | 2.32*10 ⁻⁶ (einmal in 431 000 Jahren) | 1.16*10 ⁻⁷ (einmal in 8.6 Mio. Jahren) |



| Lfd. Nr. WEA | Schutzobjekt | Anzahl Treffer pro Jahr | Kollektives Personenrisiko | Individuelles Personenrisiko |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--|---|
| 1 | Amazon – Zugang Pfortnerhäuschen | 0.4 | $2.57 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 389 000 Jahren) | $1.28 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 778 000 Jahren) |
| | Craemer – Zufahrt Nord | 0 | --- | ---- |
| | Craemer – Zufahrt Süd | 3.2 | $7.94 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 125 000 Jahren) | $5.95 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 16.7 Mio. Jahren) |
| | Craemer - LKW-Parkplatz | 3.9 | $9.85 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 101 000 Jahren) | $4.10 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 2.4 Mio. Jahren) |
| | Craemer - Parkplatz | 0.2 | $2.32 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 430 000 Jahren) | $1.16 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 86.1 Mio. Jahren) |
| | Craemer – Freifläche Fahrradständer | 0.004 | $1.64 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 6 Mio. Jahren) | $8.21 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 121.8 Mio. Jahren) |
| | Craemer – Verladebereich Nord | 0 | --- | --- |
| | Craemer – Verladebereich West | 0.3 | $1.22 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 81 000 Jahren) | $6.10 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.6 Mio. Jahren) |
| | Craemer – Verladebereich Süd | 22.7 | $7.21 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 13 000 Jahren) | $2.40 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 416 000 Jahren) |
| | Craemer - Verladerampe | 1.8 | $4.75 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 21 000 Jahren) | $1.58 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 631 000 Jahren) |
| Addierte Risiken: | | | | |
| 1 | Route 1 | 3.7 | $3.12 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 32 000 Jahren) | $2.11 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 4.7 Mio. Jahren) |
| | Route 2 | 5.4 | $4.20 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 23 000 Jahren) | $2.38 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 4.2 Mio. Jahren) |