



## **Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort Schälker Heide / Schwerte**

**Referenz-Nummer:**

F2E-2021-TGY-076, Rev. 1 - gekürzte Fassung

**Auftraggeber:**

ABO Wind AG

Unter den Eichen 7, 65195 Wiesbaden

**Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:**

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, [www.f2e.de](http://www.f2e.de)

**Verfasser:**

---

Dipl.-Ing. (FH) Silva Mäusling, Sachverständige, Hamburg, 18.11.2021

**Geprüft:**

---

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 18.11.2021

**Für weitere Auskünfte:**

Tel.: 040 53303680-0

Fax: 040 53303680-79

Silva Mäusling: [maeusling@f2e.de](mailto:maeusling@f2e.de) oder Dr. Thomas Hahm: [hahm@f2e.de](mailto: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.....	12
2.3.5	Addition von Risiken.....	14
2.4	Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken.....	15
2.5	Vereisungshäufigkeiten.....	16
2.6	Gültigkeit der Ergebnisse.....	18
2.7	Rotorblattheizung.....	19
3	Eingangsdaten.....	20
3.1	Ausgangssituation.....	20
3.2	Winddaten am Standort.....	20
3.3	Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	22
3.4	Aufenthaltshäufigkeiten.....	24
3.5	Vereisungsrelevante WEA-Systeme.....	24
3.5.1	Eiserkennungssystem.....	24
3.5.2	Systeme zur Prävention und Enteisung.....	24
3.5.3	Betriebsführungssystem.....	24
3.6	Risikoreduzierende Maßnahmen.....	24
4	Durchgeführte Untersuchungen.....	25
4.1	Standortbesichtigung.....	25
4.2	Vereisungsbedingungen am Standort.....	25
4.3	Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche.....	26
4.4	Eiswurf.....	27
4.5	Eisfall.....	27
5	Weitere Maßnahmen.....	29
5.1	Eisfall.....	29
6	Zusammenfassung.....	29
6.1	Potentielle Gefährdungsbereiche.....	29
6.2	Eiswurf.....	29
6.3	Eisfall.....	30
7	Formelzeichen und Abkürzungen.....	31



8 Literaturangaben.....	32
Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall.....	34
A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten.....	34
A.2 Schadenshäufigkeiten.....	35

## **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 Schälker Heide / Schwerte (Nordrhein-Westfalen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA 1 und 2).

Am Standort befinden sich drei weitere benachbarte WEA (WEA 3 - 5).

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 Waldwege, welche im Rahmen dieser Untersuchung vom Auftraggeber als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.3.1).

Die WEA 1 und 2 liegen in unmittelbarer Nähe zu den Schutzobjekten und werden im Folgenden hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall betrachtet.

### **3.2 Winddaten am Standort**

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten für den Referenzpunkt 1 am Standort wurden /3.1/ entnommen. Datengrundlage zur Abschätzung des Windpotentials am Standort Schälker Heide / Schwerte 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 2000 - 2020 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 Schälker Heide / Schwerte vorausgesetzt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten für die WEA 3 - 5 am Standort wurden /3.2/ entnommen und sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt. Die vorliegenden Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Schälker Heide / Schwerte vorausgesetzt.



**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]	
1	A [m/s]	5.10	5.56	6.64	6.47	5.04	7.91	9.25	8.77	8.44	7.91	7.24	5.81	Höhe über Grund [m]	169
	k [-]	2.04	2.51	3.05	3.09	2.67	2.41	3.76	2.98	2.66	2.72	2.97	2.39	East	32123456
	f (100%=1)	0.0406	0.0666	0.1166	0.0735	0.0399	0.0806	0.1080	0.1122	0.1400	0.1112	0.0695	0.0413	North	5123456
2	A [m/s]	4.32	4.58	5.16	5.13	5.9	7.64	8.45	7.51	7.69	6.98	5.6	4.71	Höhe über Grund [m]	164
	k [-]	1.971	2.006	2.279	2.127	2.178	2.318	2.764	2.623	2.549	2.213	2.131	2.107	Ost	32402452
	f (100% = 1)	0.031	0.044	0.067	0.051	0.049	0.089	0.144	0.149	0.175	0.114	0.052	0.034	Nord	5694279
3	A [m/s]	4.32	4.55	5.03	4.92	5.58	7.5	8.43	7.45	7.49	6.69	5.43	4.64	Höhe über Grund [m]	164
	k [-]	1.971	2.01	2.287	2.123	2.209	2.311	2.76	2.623	2.545	2.209	2.139	2.111	Ost	32402845
	f (100% = 1)	0.032	0.045	0.067	0.049	0.047	0.089	0.148	0.153	0.174	0.11	0.052	0.034	Nord	5694210
4	A [m/s]	4.44	4.57	4.94	4.82	5.59	7.68	8.62	7.45	7.34	6.58	5.52	4.8	Höhe über Grund [m]	164
	k [-]	1.971	2.021	2.287	2.123	2.205	2.299	2.752	2.623	2.549	2.213	2.127	2.104	Ost	32403136
	f (100% = 1)	0.034	0.046	0.065	0.047	0.047	0.091	0.154	0.153	0.167	0.107	0.054	0.036	Nord	5693914

Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen.

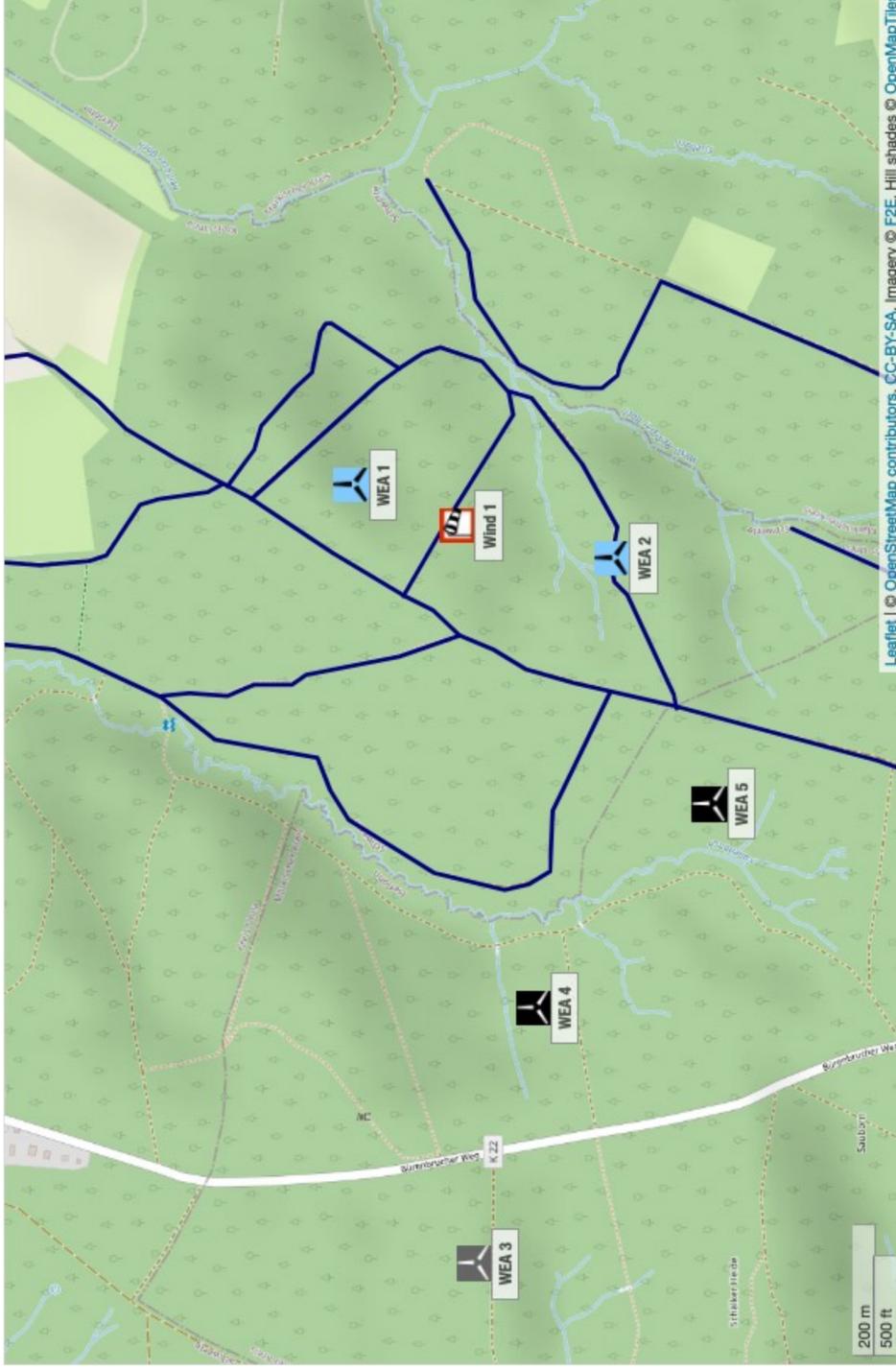


### 3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Tabelle 3.3.1: Windparkkonfiguration.

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89 / WGS84 Zone 32)		Hersteller	WEA-Typ	P <sub>N</sub> [MW]	NH [m]	RD [m]	Wind- Datensatz Nr.
			East	North						
	1	WEA01	32403626	5694439	Nordex	N149-5.7	5.7	125.4	149.1	1
	2	WEA02	32403508	5694053	Nordex	N149-5.7	5.7	125.4	149.1	1
	3	WEA03	32402452	5694279	Nordex	N149-5.7	5.7	164.0	149.1	2
	4	WEA04	32402836	5694183	Nordex	N149-5.7	5.7	164.0	149.1	3
	5	WEA05	32403136	5693914	Nordex	N149-5.7	5.7	164.0	149.1	4

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 1 der  
Winddaten

**Schutzobjekte:**  
blau: Waldwege



### **3.4 Aufenthaltshäufigkeiten**

Auf den Waldwegen wird im Folgenden von einem Verkehrsaufkommen von 5 Kfz und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 20 Personen pro Tag ausgegangen. Aufgrund von Wegbeschaffenheit und -verlauf wird hier von einer mittleren Fahrzeug-Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde ausgegangen.

Für die als kritische Individuen (siehe Kapitel 2.3.3) zu betrachtenden Fußgänger wird angenommen, dass ein individueller Fußgänger im Winter das gesamte Waldwegenetz jeden Tag mit einer Geschwindigkeit von 5km/h nutzt.

### **3.5 Vereisungsrelevante WEA-Systeme**

#### **3.5.1 Eiserkennungssystem**

Die WEA 1 - 5 sind mit drei unabhängigen Verfahren zur Erkennung von Eisansatz ausgerüstet /3.3/. 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 /3.3/.

Die WEA 1 und 2 können zusätzlich mit dem Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel zur Erkennung von Eisansatz ausgerüstet werden. Dabei wird Eisansatz aufgrund der dadurch veränderten bauteilcharakteristischen Kennwerte wie der Eigenfrequenz des Rotorblattes detektiert /3.4/.

#### **3.5.2 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.

#### **3.5.3 Betriebsführungssystem**

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /3.5/ 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.

Der Standort Schälker Heide / Schwerte wurde am 16.07.2021 besichtigt /3.6/. Die Ergebnisse der Standortbesichtigung sind in /3.6/ dokumentiert und werden soweit erforderlich in den weiteren Berechnungen berücksichtigt.

### **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. Die Anzahl ist dabei unabhängig davon, ob ein Risiko durch Eisfall oder Eiswurf betrachtet wird.

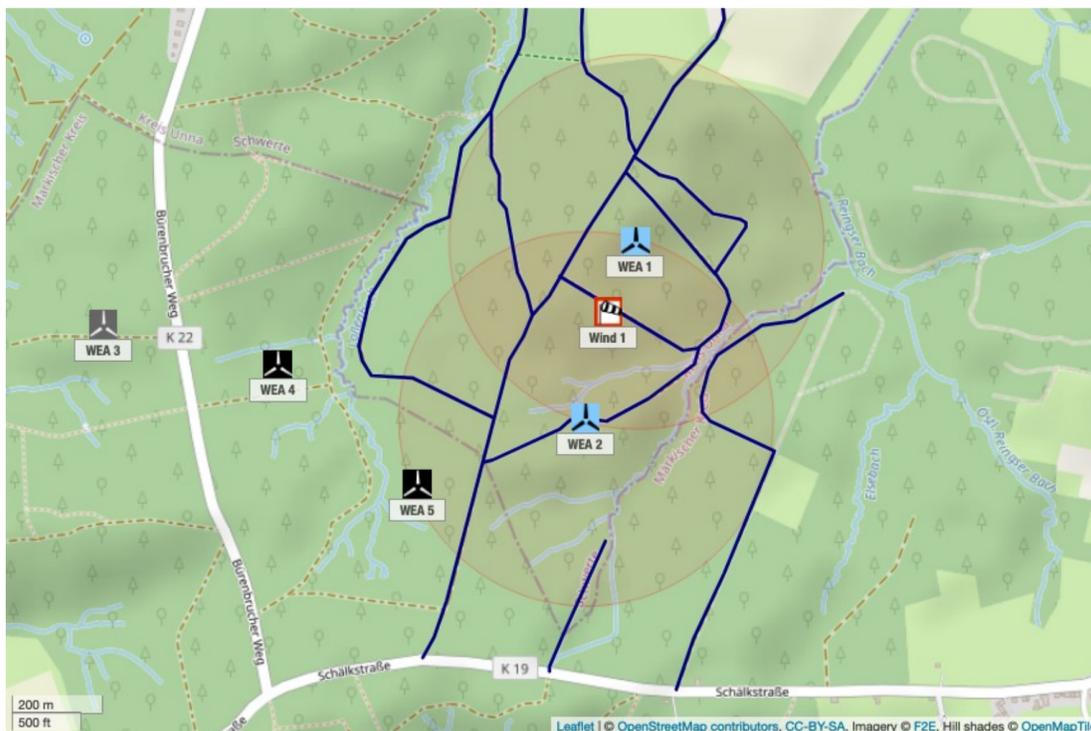
Damit ergeben sich am Standort Schälker Heide / Schwerte die in Tabelle 4.2.1 dargestellten Vereisungsbedingungen.

**Tabelle 4.2.1:** Vereisungsbedingungen am Standort Schälker Heide / Schwerte .

Lfd. Nr. WEA	Vereisungshäufigkeit [%]	Vereisungstage pro Jahr	Eisstücke pro Jahr pro WEA
1, 2	2.6	9.4	1556
4, 5	2.6	9.5	1572

### 4.3 Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) sind in Abbildung 4.3.1 dargestellt.



**Abbildung 4.3.1:** Potentielle Gefährdungsbereiche der WEA 1 und 2 und Schutzobjekte am Standort Schälker Heide / Schwerte (Karte /1.4/).

Für die zu bewertenden WEA 1 und 2 sind die zu betrachtenden Schutzobjekte, die im potentiellen Gefährdungsbereich der WEA liegen, in Tabelle 4.3.1 aufgeführt.



**Table 4.3.1:** *Zu betrachtende Schutzobjekte.*

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Potentieller Gefährdungsbereich	
			Radius [m]	Schutzobjekte im Bereich
	1	WEA01	411.8	Waldwege
	2	WEA02	411.8	Waldwege

Wenn entlang eines Weges die Gefährdungsbereiche der geplanten und der bestehenden WEA passiert werden (siehe Kapitel 2.3.5), wird das Risiko der betreffenden bestehenden WEA entsprechend berücksichtigt.

#### **4.4 Eiswurf**

Aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung kann der normale Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz ausgeschlossen werden. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu betrachten. Ein eventueller anormaler Betrieb der WEA mit Eisansatz wird im Szenario Eisfall berücksichtigt.

#### **4.5 Eisfall**

Aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung wird im Folgenden davon ausgegangen, dass der normale Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz ausgeschlossen werden kann. Da für die Systeme zur Eiserkennung keine Zertifizierung vorliegt, wird angenommen, dass es trotz der Eiserkennung in 10% aller Fälle zu einem anormalen Betrieb der WEA mit Eisansatz und damit verbundenem Eiswurf während des Betriebes der WEA kommt.

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 vier Bereiche von inakzeptabel bis uneingeschränkt akzeptabel. 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).

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:** Gefährdung durch Eisfall am Standort Schälker Heide / Schwerte.

Bewertung der Gefährdung durch Eisfall aller Schutzobjekte im Bereich der WEA			
Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
<b>Bewertung der einzelnen WEA:</b>			
1	Waldwege	---	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen
2	Waldwege	---	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen
<b>Bewertung addierter Risiken:</b>			
1, 2, 4, 5	Waldwege	---	akzeptabel

Da die Summe der Risiken aller WEA im Bereich der Waldwege die anzusetzenden Grenzwerte nicht übersteigen, ist eine weitere Betrachtung möglicher Routen durch den Windpark und der damit verbundenen Summierung von Risiken nicht erforderlich (siehe auch Kapitel 2.3.5).

Details der zugrunde liegenden Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.



## **5 Weitere Maßnahmen**

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

### **5.1 Eisfall**

Da die für die WEA 1 und 2 ermittelten Risiken bezüglich der Waldwege im oberen ALARP-Bereich liegen, sind weitere Maßnahmen in Betracht zu ziehen, um das Risiko noch weiter zu senken.

Für die WEA 2 empfehlen wir den Einsatz des optionalen zertifizierten Sensors BLADEcontrol Ice Detector (BID) der Firma Weidmüller (siehe Kapitel 3.5.1) sowie das Aufstellen von Warnschildern in der Umgebung der WEA 2, die die Öffentlichkeit vor einer erhöhten Gefahr durch Eiswurf und Eisfall von Windenergieanlagen warnen.

Da die Ergebnisse für die WEA 1 in der Mitte des ALARP-Bereiches liegen und die Waldwege außerhalb des Rotorschwenkbereiches der WEA 1 entlangführen, empfehlen wir für die WEA 1 lediglich das Aufstellen von Warnschildern, die die Öffentlichkeit vor einer erhöhten Gefahr durch Eiswurf und Eisfall in der Umgebung der WEA 1 warnen.

## **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 Waldwege in der Nachbarschaft der WEA definiert.

### **6.1 Potentielle Gefährdungsbereiche**

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA 1 und 2 überschneiden das Schutzobjekt Waldwege. Die WEA 1 und 2 sind daher in der weiteren Risikobewertung zu betrachten.

### **6.2 Eiswurf**

Abschließend kann festgestellt werden, dass aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung der normale Betrieb der WEA mit Eisansatz ausgeschlossen werden kann. Ein eventueller anormaler Betrieb der WEA mit Eisansatz wird im Szenario



Eisfall berücksichtigt.

### 6.3 Eisfall

Da für die Systeme zur Eiserkennung der WEA 1 und 2 keine Zertifizierung vorliegt, wird angenommen, dass es trotz der Eiserkennung in 10% aller Fälle zu einem anormalen Betrieb der WEA 1 und 2 mit Eisansatz und damit verbundenem Eiswurf während des Betriebes der WEA kommt.

Die abschließende Bewertung des Risikos durch Eisfall ist in Tabelle 6.3.1 für alle WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt. Aufgeführt werden dabei nur die Schutzobjekte, die von der jeweiligen WEA getroffen werden.

WEA, in deren potentiellen Gefährdungsbereich (siehe Tabelle 4.3.1) bzw. in deren standortspezifisch ermittelten Gefährdungsbereich (siehe Anhang A) keine Schutzobjekte liegen, sind in Tabelle 6.3.1 nicht mit aufgeführt.

Maßnahmen, die in den Berechnungen berücksichtigt wurden und entsprechend für die getroffene Aussage unabdingbar sind, werden in der Spalte „Maßnahmen - erforderlich“ aufgeführt.

Maßnahmen, die umgesetzt werden sollten, weil das Risiko im oberen ALARP-Bereich (siehe Kapitel 2.3) liegt, werden in der Spalte „Maßnahmen - empfohlen“ aufgeführt.

**Tabelle 6.3.1:** Bewertung des Eisfallrisikos.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Risiko- bewertung	Maßnahmen	
			erforderlich	empfohlen
1	Waldwege	akzeptabel	---	Kapitel 5
2	Waldwege	akzeptabel	---	Kapitel 5



## 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]
$\Theta$	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/ Digitales Geländemodell zum Standort Schälker Heide als Datei "iserlohn.asc" per E-Mail vom Auftraggeber am 12.02.2021.
- /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 (IWAI 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.

### Normen

- /2.1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; October 2018.
- /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 Schälker Heide / Schwerte heruntergeladen am 20.07..2021.
- /3.2/ Ramboll Deutschland GmbH; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt 16-1-2051-001 Schälker Heide; 28.01.2021; Kassel; Deutschland.
- /3.3/ Nordex Energy GmbH; Allgemeine Dokumentation, Eiserkennung an Nordex Windenergieanlagen, NALL01\_008528\_DE, Revision 06; 01.07.2020; Hamburg, Deutschland.
- /3.4/ Nordex Energy GmbH; Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex-Windenergieanlagen, Gültig für Nordex K08-Anlagen Generation gamma und delta; Dokument K0801\_055240\_DE; Hamburg, April 2016.
- /3.5/ Nordex Energy GmbH; Trudelbetrieb bei Eisansatz von Nordex Anlagen; per Email am 18.09.2019.
- /3.6/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung für dem WEA-Standort Schälker Heide; Referenz-Nr.: F2E-2021-TGV-027; Juli 2021; Hamburg, Deutschland.

## Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall

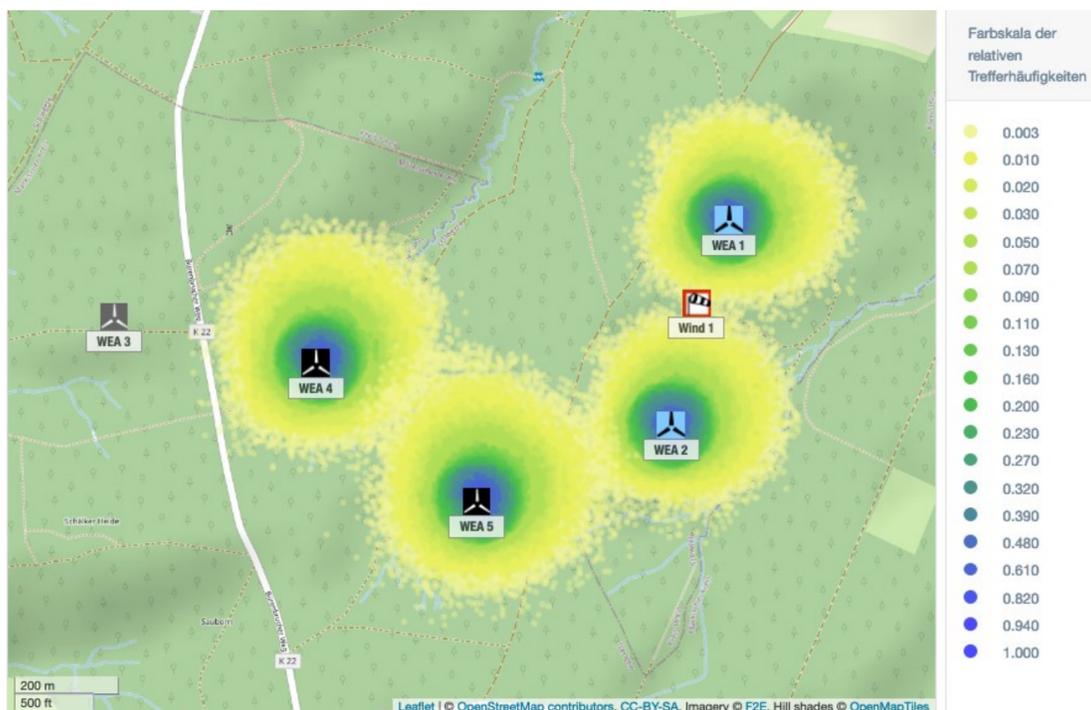
### A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

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

*Tabelle A.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Eisstücke am Standort Schälker Heide / Schwerte.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]	Maximale Flugweite / (Nabenhöhe + Rotordurchmesser)
1	267.9	0.976
2	259.8	0.946

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 (16m<sup>2</sup>) und Jahr in der Umgebung der WEA 1, 2, 4 und 5 am Standort Schälker Heide / Schwerte (Karte /1.4/).



## A.2 Schadenshäufigkeiten

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

*Tabelle A.2.1: Randbedingungen für die Bewertung von Sach- bzw. Personenschäden am Standort Schälker Heide / Schwerte.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
<b>Zu bewertende WEA</b>		
1	Waldwege	16.3
2	Waldwege	69.6
<b>Weitere berücksichtigte WEA</b>		
4	Waldwege	0.4
5	Waldwege	7.0

Für die Bewertung von Personenschäden wird davon ausgegangen, dass jedes Kfz im Mittel mit 1.5 Personen besetzt ist. Dies entspricht der durchschnittlichen Besetzungszahl von Pkw in Deutschland /1.6/. Eine infolge eines Treffers durch Eis resultierende Verkettung von Unfällen wurde nicht betrachtet.

Da die Anzahl der Treffer in Tabelle 4.5.1 bezüglich der Feldwege konservativ als Summe über das gesamte Wegenetz ermittelt wurde, wird angenommen, dass jedes Individuum dieses Wegenetz nur einmal am Tag zurücklegt.

Mit den genannten Ausführungen ergeben sich die in Tabelle A.2.2 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

Das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko ist in Tabelle A.2.2 jeweils fett gedruckt.

Relevante Überschreitungen der Risikogrenzwerte gemäß Tabelle 2.3.3.1 bzw. Werte im ALARP-Bereich, die eventuell weitere Maßnahmen erfordern, sind in Tabelle A.2.2 jeweils kursiv gedruckt.



**Tabelle A.2.2:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Schälker Heide / Schwerte.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
<b>Risiken pro WEA:</b>			
1	Waldwege	$2.57 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 38 000 Jahren)	$1.21 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 825 000 Jahren)
2	Waldwege	$1.00 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 9900 Jahren)	$4.69 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 213 000 Jahren)
<b>Addierte Risiken:</b>			
1, 2, 4, 5	Waldwege	$1.38 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 7200 Jahren)	$6.45 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 155 000 Jahren)