



## **Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort Blankenberg**

**Referenz-Nummer:**

F2E-2021-TGY-067, Rev. 0 - gekürzte Fassung

**Auftraggeber:**

SAB Projektentwicklung GmbH & Co. KG  
Berliner Platz 1, 25524 Itzehoe

**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:**

---

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige,

Hamburg, 02.12.2021

**Geprüft:**

---

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 02.12.2021

**Für weitere Auskünfte:**

Tel.: 040 53303680-0

Fax: 040 53303680-79

Rebecca Bode: [bode@f2e.de](mailto:bode@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	Eiserkennungssysteme.....	24
3.5.2	Systeme zur Prävention und Enteisung.....	24
3.5.3	Betriebsführungssystem.....	24
3.6	Risikoreduzierende Maßnahmen.....	25
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
5	Weitere Maßnahmen.....	29
5.1	Eiswurf.....	29
6	Zusammenfassung.....	30
6.1	Potentielle Gefährdungsbereiche.....	30
6.2	Eiswurf.....	30
7	Formelzeichen und Abkürzungen.....	31
8	Literaturangaben.....	32
	Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eiswurf.....	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 Blankenberg (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 1 - 5).

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 befindet sich ein Privatweg, welcher im Rahmen dieser Untersuchung vom Auftraggeber als Schutzobjekt definiert wurde (siehe Abbildung 3.3.1).

Die WEA 1 - 5 liegen in unmittelbarer Nähe zu dem Schutzobjekt und werden 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 Blankenberg 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 Blankenberg vorausgesetzt.



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






Wind-Daten- satz Nr.	Parameter	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 33)	
														Höhe über Grund [m]	
1	A [m/s]	7.13	6.75	7.19	8.29	9.10	8.51	7.94	8.55	9.46	9.86	8.66	7.49	169	
	k [-]	2.545	2.695	2.569	2.843	2.984	2.983	2.623	2.575	2.909	2.999	2.648	2.376	Ost	33338028
	<i>f</i> (100% = 1)	0.056	0.054	0.073	0.094	0.100	0.075	0.057	0.070	0.106	0.137	0.112	0.067	Nord	5869740

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 Zone 33)		Hersteller	WEA-Typ	P <sub>N</sub> [MW]	NH [m]	RD [m]	Wind- Datensatz Nr.
			East	North						
	1	WEA 1	33337826	5870218	Vestas	V162	5.6	169.0	162.0	1
	2	WEA 2	33337986	5869860	Vestas	V162	5.6	169.0	162.0	1
	3	WEA 3	33338221	5869457	Vestas	V162	5.6	169.0	162.0	1
	4	WEA 4	33338350	5869131	Vestas	V162	5.6	169.0	162.0	1
	5	WEA 5	33338564	5868855	Vestas	V162	5.6	169.0	162.0	1

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

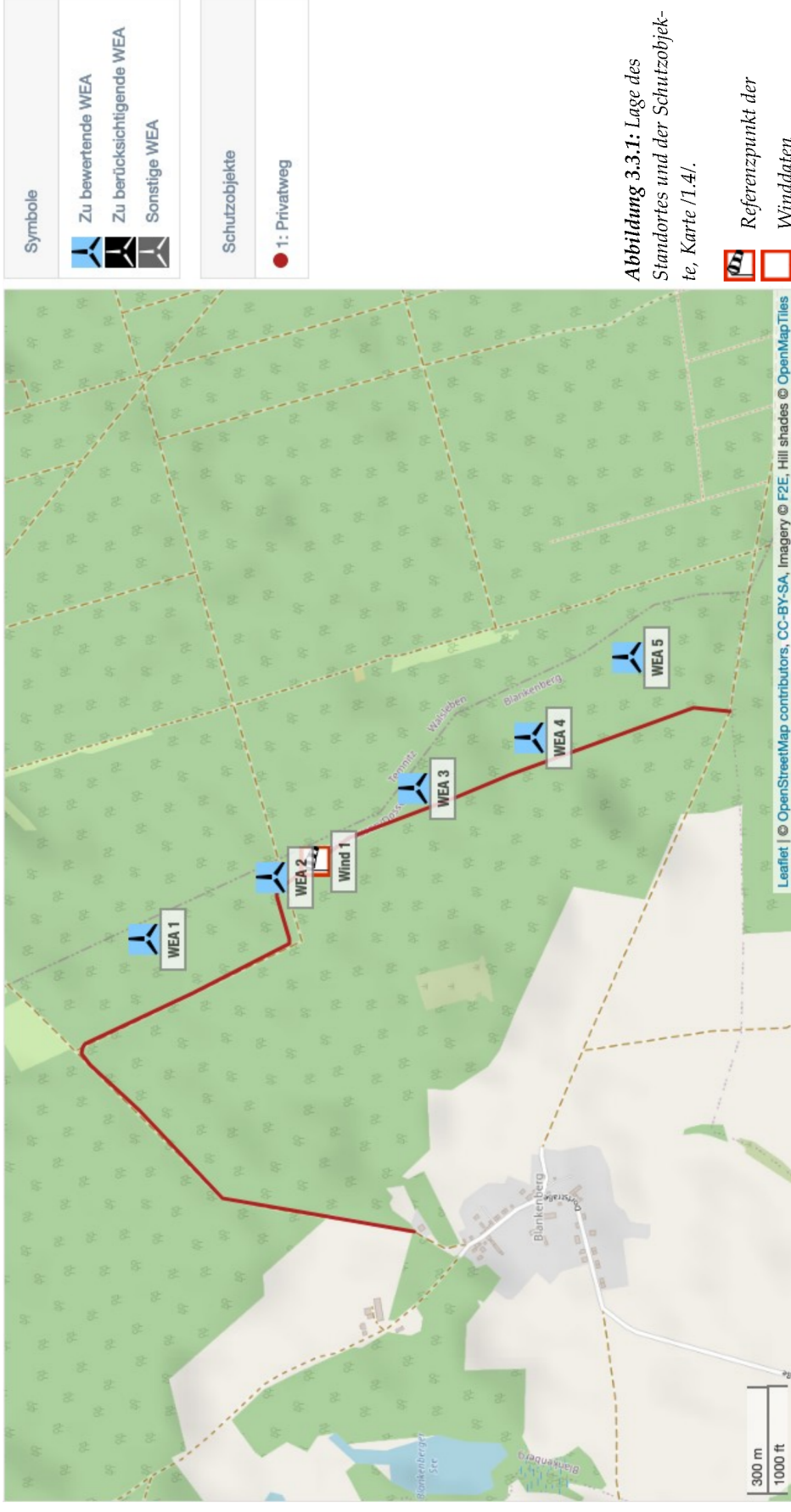


Abbildung 3.3.1: Lage des Standortes und der Schutzobjekte, Karte 1/1.4/.

Referenzpunkt der  
 Winddaten



### **3.4 Aufenthaltshäufigkeiten**

Laut Auftraggeber bestehen auf dem Privatweg Zufahrtsbeschränkungen, sodass dieser nur durch land- und forstwirtschaftlichen Verkehr genutzt werden darf /3.2/. Im Folgenden wird von einem Verkehrsaufkommen von 2 Kfz pro Tag und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 10 Personen 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 den Privatweg jeden zweiten Tag mit einer Geschwindigkeit von 5km/h nutzt.

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

#### **3.5.1 Eiserkennungssysteme**

Die WEA 1 - 5 können mit dem Eiserkennungssystem Vestas Ice Detection™ System (VID) /3.3/ oder dem BLADEcontrol Ice Detector (BID) der Firma Weidmüller /3.4/ ausgestattet werden. Die Systeme sind baugleich. Es werden zwei bestimmte Eigenfrequenzen an den Blättern gemessen. Wird eine Änderung der Frequenzen festgestellt, lässt dies auf Eisansatz schließen und die Anlage schaltet ab. Dieses System erkennt Eis auch im Trudelbetrieb, so dass die Anlage nach dem Abtauen selbstständig wieder in Betrieb genommen wird, soweit dies behördlich erlaubt ist.

Gemäß /3.5/ entspricht die Integration des Systems BLADEcontrol Ice Detector (BID) in Vestas-Anlagen den behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb.

Das System zur Eiserkennung ist entsprechend der Richtlinie des Germanischen Lloyd für die Zertifizierung von Systemen zur Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen /3.6/ typgeprüft /3.7/.

#### **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 /3.8/ 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 vom 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.

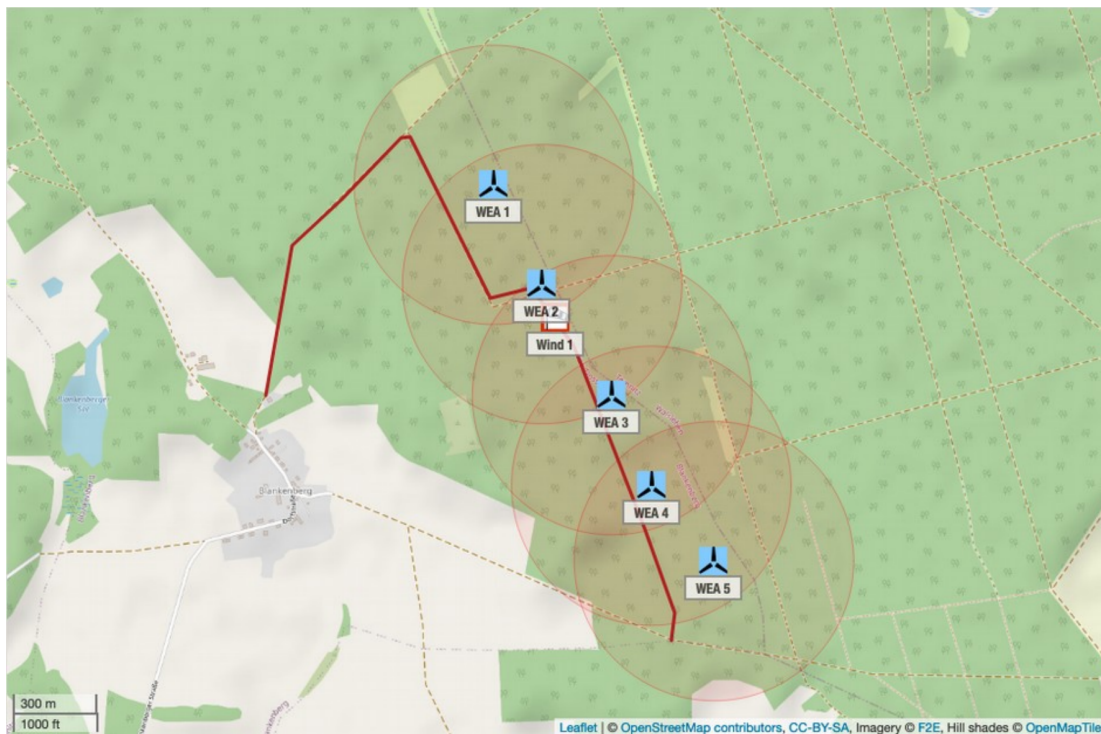
Damit ergeben sich am Standort Blankenberg die in Tabelle 4.2.1 dargestellten Vereisungsbedingungen.

**Tabelle 4.2.1:** Vereisungsbedingungen am Standort Blankenberg .

Lfd. Nr. WEA	Vereisungshäufigkeit [%]	Vereisungstage pro Jahr	Eisstücke pro Jahr pro WEA Eisfall	Eisstücke pro Jahr pro WEA Eiswurf
1 - 5	1.9	6.9	---	4044

### 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 - 5 und Schutzobjekt am Standort Blankenberg (Karte /1.4/).



Für die zu bewertenden WEA 1 - 5 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	Bezeichnung	Potentieller Gefährdungsbereich	
			Radius [m]	Schutzobjekte im Bereich
	1	WEA 1	496.5	Privatweg
	2	WEA 2	496.5	Privatweg
	3	WEA 3	496.5	Privatweg
	4	WEA 4	496.5	Privatweg
	5	WEA 5	496.5	Privatweg

#### 4.4 Eiswurf

Die WEA 1 – 5 sind nicht mit einem System zur Eiserkennung ausgerüstet. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch zu betrachten.

Aus der in Kapitel 4.2 ermittelten Gesamtanzahl von Eisstücken, der Windgeschwindigkeitsverteilung gemäß Tabelle 3.3.1, 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 und das



Schutzobjekt folgende Ergebnisse für das Szenario Eiswurf.

Es ist in Tabelle 4.4.1 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 4.4.1 gesondert aufgeführt.

**Tabelle 4.4.1:** Gefährdung durch Eiswurf am Standort Blankenberg.

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

Details der zugrunde liegenden Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.



## **5 Weitere Maßnahmen**

Da die zugrunde gelegten Risikogrenzwerte am Standort Blankenberg für die WEA 1 und 5 für das Schutzobjekt Privatweg deutlich unterschritten werden, sind für diese WEA weitere risikomindernde Maßnahmen nicht erforderlich.

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

### **5.1 Eiswurf**

Da die für die WEA 2, 3 und 4 ermittelten Risiken bezüglich dem Schutzobjekt Privatweg im oberen ALARP-Bereich liegen, empfehlen wir als risikoreduzierende Maßnahme gemäß Kapitel 2.3.4 den betroffenen Weg bei Vereisungsbedingungen durch eine Schranke zu sperren.

Des Weiteren empfehlen wir für den Privatweg in der Umgebung der WEA 2 - 4 das Aufstellen von Warnschildern, die die Öffentlichkeit vor einer erhöhten Gefahr durch Eiswurf und Eisfall von Windenergieanlagen 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 Schutzobjekt wurde ein Privatweg in der Nachbarschaft der WEA definiert.

### 6.1 Potentielle Gefährdungsbereiche

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA 1 - 5 überschneiden das Schutzobjekt Privatweg. Die WEA 1 - 5 sind daher in der weiteren Risikobewertung zu betrachten.

### 6.2 Eiswurf

Die abschließende Bewertung des Risikos durch Eiswurf ist in Tabelle 6.2.1 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 Gefährdungsbereichen (siehe Tabelle 4.3.1) bzw. in deren standortspezifisch ermittelten Gefährdungsbereichen (siehe Anhang A) keine Schutzobjekte liegen, sind in Tabelle 6.2.1 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 6.2.1: Bewertung des Eiswurftrisikos.*

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



## 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/ 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 (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 Blankenberg, heruntergeladen am 09.11.2021
- /3.2/ Mail vom Auftraggeber am 21.10.2021.
- /3.3/ Vestas Wind Systems A/S; Allgemeine Spezifikation Vestas Eiserkennungssystem (VID) - V105/V112/V117/V126/V136-3.45/3.6MW 50/60Hz V117/V136/V150 - 4.0/4.2MW 50/60Hz V150/V162 - 5.6MW 50/60Hz; Dokumentennr. : 0051-2750 V10; 30. April 2020.
- /3.4/ Vestas Deutschland GmbH; Allgemeine Spezifikation BLADEcontrol Ice Detector, Rotorblattvereisungsüberwachung, Dokument Nr. : 0027-7735.V05; 09.09.2016.
- /3.5/ DNV-GL; Gutachten Ice Detection System Integration des BLADEcontrol Ice Detector BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen; Report Nr.: 75172, Rev. 3, 19.03.2018.
- /3.6/ DNV GL AS; Certification of condition monitoring, DNVGL-SE-0439:2016-06; June 2016.
- /3.7/ DNV GL Renewables Certification; Type Certificate Ice Detection System BLADEcontrol Ice Detector (BID); Certificate No. TC-DNVGL-SE-0439-04314-1; Hamburg, 2020-10-20.
- /3.8/ Vestas Central Europe; Angaben zum Trudelbetrieb nach Abschaltung wegen Eisansatz; per E-Mail am 13.12.2017, 15.10.2018 und 19.11.2018.

## Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eiswurf

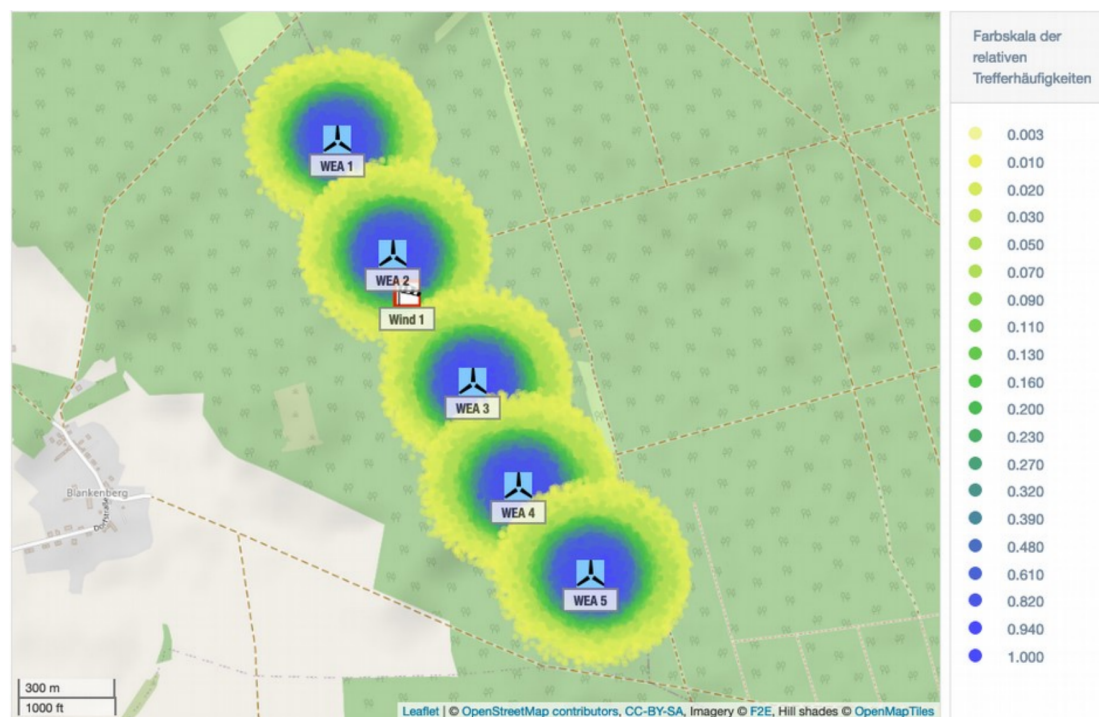
### A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

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 Blankenberg.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
1	302.8
2	305.1
3	306.9
4	310.5
5	310.3

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 - 5 am Standort Blankenberg (Karte /1.4/).*

## A.2 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für den Privatweg 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 Blankenberg.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
1	Privatweg	3.1
2	Privatweg	92.3
3	Privatweg	85.1
4	Privatweg	74.6
5	Privatweg	3.6

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.

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 Blankenberg.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
<b>Risiken pro WEA:</b>			
1	Privatweg	1.84*10 <sup>-6</sup> (einmal in 544 000 Jahren)	<b>8.74*10<sup>-8</sup></b> <b>(einmal in 11 Mio. Jahren)</b>



Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
2	Privatweg	$5.39 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 18 000 Jahren)	$2.56 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 389 000 Jahren)
3	Privatweg	$4.97 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 20 000 Jahren)	$2.37 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 422 000 Jahren)
4	Privatweg	$4.35 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 22 000 Jahren)	$2.07 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 482 000 Jahren)
5	Privatweg	$2.09 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 478 000 Jahren)	$9.96 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 10 Mio. Jahren)
<b>Addierte Risiken:</b>			
1 - 5	Privatweg	$1.51 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 6 000 Jahren)	$7.19 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 139 000 Jahren)