



Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort Zichtow

Referenz-Nummer:

F2E-2020-TGL-029, Rev. 0 - gekürzte Fassung

Auftraggeber:

Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG
Dorfstr. 53, 16816 Nietwerder (Neuruppin)

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

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

Verfasser:

Dipl.-Ing. (FH) Silva Mäusling, Sachverständige, Hamburg, 30.09.2020

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 30.09.2020

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680-0

Fax: 040 53303680-79

Silva Mäusling: maeusling@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.....	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
3	Eingangsdaten.....	20
3.1	Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	20
3.2	Winddaten am Standort.....	23
3.3	Aufenthaltshäufigkeiten.....	23
3.4	Eiserkennung.....	24
3.4.1	Eiserkennungssystem.....	24
3.4.2	Zustand nach Abschaltung.....	24
3.4.3	Risikoreduzierende Maßnahmen.....	24
4	Durchgeführte Untersuchungen.....	25
4.1	Standortbesichtigung.....	25
4.2	Vereisungshäufigkeit am Standort.....	25
4.3	Anzahl sich lösender Eisstücke.....	25
4.4	Ermittlung der Gefährdungsbereiche.....	26
4.5	Eiswurf.....	27
4.6	Eisfall.....	27
5	Weitere Maßnahmen.....	29
5.1	Eisfall.....	29
6	Zusammenfassung.....	30
6.1	Gefährdungsbereiche.....	30
6.2	Eiswurf.....	30
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 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Am Standort Zichtow (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 1 - 5).

Am Standort befinden sich weitere benachbarte WEA, die aufgrund ihrer Entfernung nicht berücksichtigt werden.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration und die Schutzobjekte sind in Tabelle 3.1.1 bzw. Abbildung 3.1.1 dargestellt.

In der Umgebung befinden sich land- und forstwirtschaftliche Wege, welche im Rahmen dieser Untersuchung als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.1.1).

Die WEA 1 - 5 liegen in unmittelbarer Nähe zu den Schutzobjekten und werden im Folgenden hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall betrachtet.

Tabelle 3.1.1: Windparkkonfiguration.

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89 / WGS84 Zone 33)		Hersteller	WEA-Typ	P _N [MW]	NH [m]	RD [m]
			East	North					
	1	Z1	33309138	5867170	Vestas	V162	5.6	148.0	162.0
	2	Z2	33309565	5867410	Vestas	V162	5.6	148.0	162.0
	3	Z3	33309826	5867905	Vestas	V162	5.6	148.0	162.0
	4	Z4	33309615	5868235	Vestas	V162	5.6	148.0	162.0
	5	Z6	33309339	5867829	Vestas	V162	5.6	148.0	162.0

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.1.1.

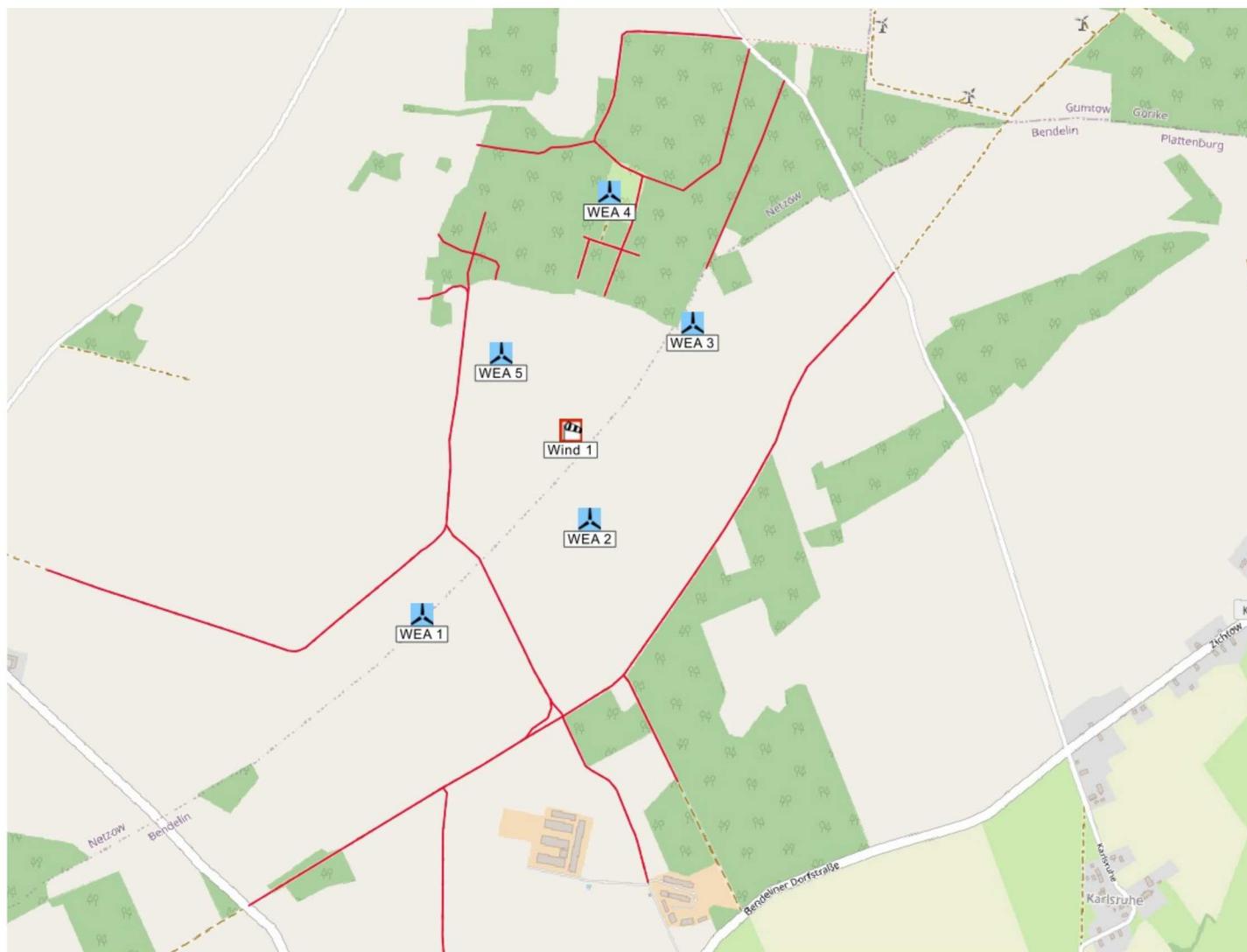


Abbildung 3.1.1:
Lage des Standortes,
Karte 1/1.

-  zu bewertende WEA
-  zu berücksichtigende WEA
-  weitere WEA

Schutzobjekte:

rot: Land- und
forstwirtschaftliche Wege



3.2 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /15/ entnommen. Datengrundlage zur Abschätzung des Windpotentials am Standort Zichtow 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 - 2019 ab / 15/.

Entsprechend den Empfehlungen aus /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 Zichtow vorausgesetzt.

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

Höhe über Grund		N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Ges.
148	A	6.76	6.56	7.04	7.98	8.63	7.74	7.59	8.00	9.23	9.60	8.24	7.17	8.12
	k	2.36	2.72	2.74	2.83	3.10	2.94	2.77	2.64	3.06	3.09	2.49	2.39	2.61
	f	0.0518	0.0514	0.0739	0.0986	0.1107	0.0769	0.0570	0.0625	0.1066	0.1340	0.1102	0.0666	1.0002
Bezugswerte														
Koordinaten des Referenzpunktes (UTM ETRS89 Zone 33)								East				North		
								33309516				5867635		

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

3.3 Aufenthaltshäufigkeiten

Auf den angrenzenden land- und forstwirtschaftlichen Wegen wird im Folgenden von einem Verkehrsaufkommen von 5 Kfz und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 5 Personen pro Tag ausgegangen. Aufgrund der Nutzung wird hier von einer mittleren Fahrzeug-Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde ausgegangen.



3.4 Eiserkennung

3.4.1 Eiserkennungssystem

Die WEA 1 - 5 sind mit der Eiserkennung BLADEcontrol der Firma Weidmüller ausgestattet /16/. Dabei 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 /17/ 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 verwendete System zur Eiserkennung ist entsprechend der Richtlinie des Germanischen Lloyd für die Zertifizierung von Systemen zur Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen /18/ typgeprüft /19/.

3.4.2 Zustand nach Abschaltung

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /20/ umgesetzt.

3.4.3 Risikoreduzierende Maßnahmen

In den im Anhang A dargestellten Ergebnissen wurden keine risikoreduzierenden Maßnahmen berücksichtigt.



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. 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 Vereisungshäufigkeit am Standort

Entsprechend Kapitel 2.5 ergibt sich am Standort Zichtow eine Vereisungshäufigkeit von 1.9% entsprechend 6.8 Vereisungstagen pro Jahr.

4.3 Anzahl sich lösender Eisstücke

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 /1/ kann die insgesamt zu berücksichtigende Eismasse abhängig von der Blattgeometrie anhand des Vereisungslastfalles der internationalen Richtlinie für WEA /12/ 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, und ergibt im vorliegenden Fall 195.4 Eisstücke pro Vereisung. Damit ergeben sich bei 6.8 Vereisungsfällen insgesamt 1329 Eisstücke pro Jahr.



4.4 Ermittlung der Gefährdungsbereiche

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) sind in Abbildung 4.4.1 dargestellt.

Für die zu bewertenden WEA ergeben sich die in Tabelle 4.4.1 aufgeführten zu betrachtenden Schutzobjekte.

Tabelle 4.4.1: Zu betrachtende Schutzobjekte.

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Potentieller Gefährdungsbereich	
			Radius [m]	Schutzobjekte im Bereich
	1	Z1	465	Land- und forstwirtschaftliche Wege
	2	Z2	465	Land- und forstwirtschaftliche Wege
	3	Z3	465	Land- und forstwirtschaftliche Wege
	4	Z4	465	Land- und forstwirtschaftliche Wege
	5	Z6	465	Land- und forstwirtschaftliche Wege

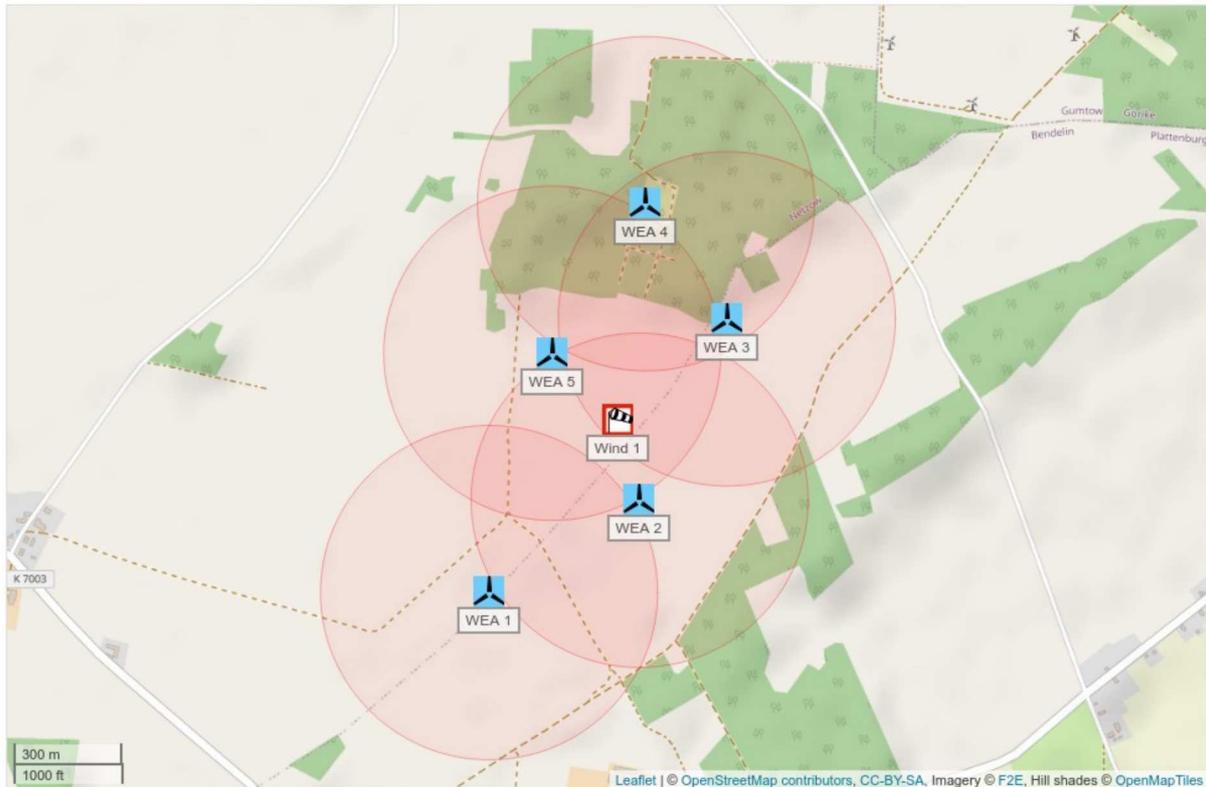


Abbildung 4.4.1: Potentielle Gefährdungsbereiche der WEA 1 - 5 am Standort Zichtow (Karte 17/).

4.5 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.

4.6 Eisfall

Die WEA 1 - 5 sind mit einem System zur Eiserkennung ausgerüstet. Entsprechend Kapitel 2.2 besteht auch bei vorhandener funktionssicherer Eiserkennung stets ein Risiko durch Eisfall in der Umgebung einer WEA. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eisfall standortspezifisch zu betrachten.

Aus der in Kapitel 4.3 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, den 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 4.6.1 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 4.6.1 gesondert aufgeführt.

Tabelle 4.6.1: Gefährdung durch Eisfall am Standort Zichtow.

Bewertung der Gefährdung durch Eisfall aller Schutzobjekte im Bereich der WEA			
Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
Bewertung der einzelnen WEA:			
1	Land- und forstwirtschaftliche Wege	---	akzeptabel - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich
2	Land- und forstwirtschaftliche Wege	---	---*
3	Land- und forstwirtschaftliche Wege	---	uneingeschränkt akzeptabel
4	Land- und forstwirtschaftliche Wege	---	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen
5	Land- und forstwirtschaftliche Wege	---	akzeptabel - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich

*: Die Ergebnisse zeigen, dass die Schutzobjekte nicht von Eisstücken der WEA getroffen werden.



Da die Summe der Risiken aller WEA im Bereich der Land- und forstwirtschaftlichen Wege 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 4 ermittelten Risiken bezüglich der land- und forstwirtschaftlichen Wege im oberen ALARP-Bereich liegen, sind weitere Maßnahmen in Betracht zu ziehen, um das Risiko noch weiter zu senken.

Für die land- und forstwirtschaftlich genutzten Wege in der Umgebung der WEA 4 empfehlen wir 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 Schutzobjekte wurden die land- und forstwirtschaftlichen Wege in der Nachbarschaft der WEA definiert.

6.1 Gefährdungsbereiche

Die Gefährdungsbereiche der WEA 1 - 5 überschneiden das Schutzobjekt land- und forstwirtschaftlichen Wege. Die WEA 1 - 5 sind daher in der weiteren Risikobewertung zu betrachten.

6.2 Eiswurf

Abschließend kann festgestellt werden, dass aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung eine Gefährdung durch Eiswurf von den betrachteten WEA ausgeschlossen werden kann.

6.3 Eisfall

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 4.4.1) 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	Land- und forstwirtschaftliche Wege	akzeptabel	---	---
3	Land- und forstwirtschaftliche Wege	akzeptabel	---	---
4	Land- und forstwirtschaftliche Wege	akzeptabel	---	Kapitel 5
5	Land- und forstwirtschaftliche Wege	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]
Θ	Azimutwinkel	[°]



8 Literaturangaben

- /1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; October 2018.
- /2/ Bengt Tammelin et. al.; Wind Energy Production in Cold climates; Meteorological publications No.41, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, February 2000.
- /3/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind Task 19, State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates, Edition October 2012.
- /4/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen - Fassung Juni 2015 bzw. Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Ausgabe 2017/1.
- /5/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.
- /6/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik Heft V 291, Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Bergisch Gladbach, August 2017.
- /7/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /8/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2006, Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).
- /9/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.
- /10/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- /11/ 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.
- /12/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Ed. 4, Wind turbines - Part 1: Design requirements; 88/521/CD Committee Draft, 22. Oktober 2015.
- /13/ 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/>
- /14/ Oliver J., Creighton P.; Road Accidents, Bicycle injuries and helmet use: a systematic review and meta-analysis; International Journal of Epidemiology, 2017, 278-292.
- /15/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; anemos Windatlas für Deutschland, <https://awis.anemos.de/>, Winddaten zum Standort Zichtow heruntergeladen am 23.09.2020.
- /16/ Vestas Deutschland GmbH; Allgemeine Spezifikation BLADEcontrol Ice Detector, Rotorblattvereisungsüberwachung, Dokument Nr. : 0027-7735.V05; 09.09.2016.
- /17/ DNV GL Energy; Gutachten Ice Detection System, Integration des BLADEcontrol Ice Detector



- BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen; Report Nr.: 75172, Rev. 5; 07.01.2019, Hamburg, Deutschland.
- /18/ Germanischer Lloyd; GL Rules and Guidelines - IV Industrial Services - Part 4; Guideline for the Certification of Condition Monitoring Systems for Wind Turbines, Edition 2013.
- /19/ DNV GL Renewables Certification; Type Certificate Ice Detection System BLADEcontrol Ice Detector (BID); Certificate No. TC-DNVGL-SE-0439-04314-0; Hamburg, 2018-10-18.
- /20/ Vestas Central Europe; Angaben zum Trudelbetrieb nach Abschaltung wegen Eisansatz; per E-Mail am 13.12.2017.



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. Die maximale Flugweite bezieht sich auf ein 99.95% Quantil. Einzelne Eisstücke erreichen größere Flugweite, sind aber für die Risikobewertung nicht relevant und werden auch nicht bei den Trefferhäufigkeiten berücksichtigt.

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

WEA	Maximale Flugweite [m]	Maximale Flugweite / (Nabenhöhe + Rotordurchmesser)
WEA 1	247.7	0.799
WEA 2	244.8	0.790
WEA 3	245.6	0.792
WEA 4	255.1	0.823
WEA 5	249.5	0.805

Die Flugweiten erreichen einen Maximalwert vom 0.823 fachen aus Nabenhöhe plus Rotordurchmesser der WEA. Sie liegen damit unter dem in /2/ bei pauschaler Betrachtung geforderten konservativen Abstand vom 1.5fachen aus Nabenhöhe plus Rotordurchmesser der WEA.

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

Auf Grund der Unsicherheit bei der Georeferenzierung wurde ein zusätzlicher räumlicher Toleranzbereich von 2m für das Schutzobjekt berücksichtigt.

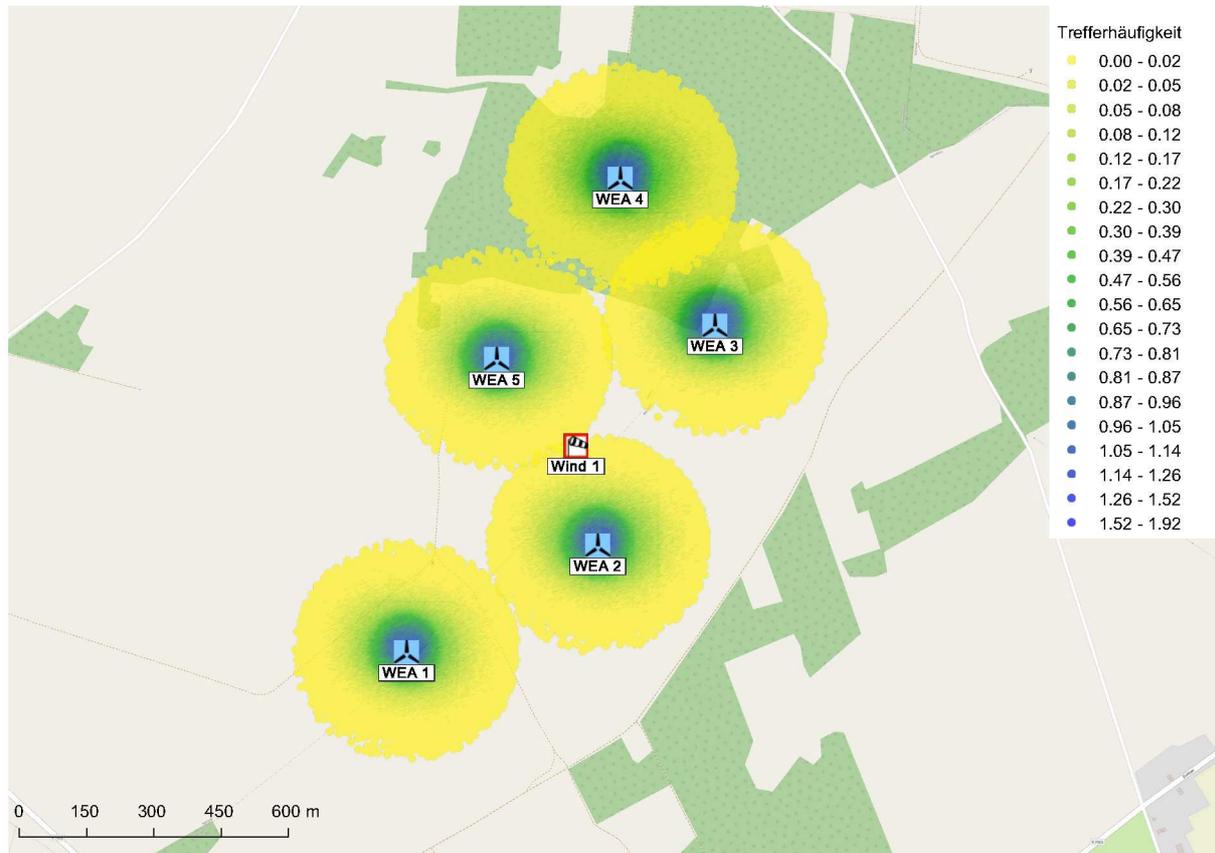


Abbildung A.1.1: Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m²) und Jahr in der Umgebung der WEA 1 - 5 am Standort Zichtow (Karte 17/).

A.2 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die land- und forstwirtschaftlichen Wege die in Tabelle A.2.1 aufgeführten Randbedingungen.

Tabelle A.2.1: Randbedingungen für die Bewertung von Sach- bzw. Personenschäden am Standort Zichtow.

WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
1	Land- und forstwirtschaftliche Wege	4.6
2	Land- und forstwirtschaftliche Wege	0.0
3	Land- und forstwirtschaftliche Wege	0.3
4	Land- und forstwirtschaftliche Wege	41.3
5	Land- und forstwirtschaftliche Wege	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 /9/. 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.

Die zugrunde gelegten Parameter sind noch einmal in Tabelle A.2.3 aufgeführt.

Tabelle A.2.2: Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Zichtow.

WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
Risiken pro WEA:			
1	Land- und forstwirtschaftliche Wege	1.93*10 ⁻⁶ (einmal in 518 000 Jahren)	6.17*10⁻⁷ (einmal in 1.6 Mio. Jahren)
3	Land- und forstwirtschaftliche Wege	1.14*10 ⁻⁷ (einmal in 8.7 Mio. Jahren)	3.65*10⁻⁸ (einmal in 27 Mio. Jahren)
4	Land- und forstwirtschaftliche Wege	9.29*10 ⁻⁶ (einmal in 107 000 Jahren)	<i>2.97*10⁻⁶</i> <i>(einmal in 336 000 Jahren)</i>
5	Land- und forstwirtschaftliche Wege	2.43*10 ⁻⁶ (einmal in 411 000 Jahren)	7.78*10⁻⁷ (einmal in 1.2 Mio. Jahren)



Table A.2.3: Auflistung der verwendeten Einflussparameter.

Einflussparameter	Wert
Vereisungshäufigkeit pro Jahr	0.019 (1.9%)
Vereisungshäufigkeit der WEA bei Vereisungsbedingungen	1 (100%)
Eisstücke pro Vereisungsereignis	195.4
Vereisungsereignisse pro Jahr (vollständige und dickschichtige Vereisung)	6.8
Gesamtanzahl Eisstücke pro Jahr	1329
Für die Statistik berücksichtigte Anzahl an Eisstück-Flugbahnen	~ 1 000 000
Verkehrsaufkommen auf den land- und forstwirtschaftlichen Wegen Kfz/Tag	5
Personenaufkommen auf den land- und forstwirtschaftlichen Wegen Personen/Tag	5
Anzahl Personen pro Kfz	1.5