



Gutachten zu Risiken durch Eiswurf und Eisfall am Standort Schierenberg

Referenz-Nummer:

F2E-2021-TGZ-018, 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

Verfasser:

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige,

Hamburg, 14.12.2021

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 14.12.2021

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680-0

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.....	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.....	23
3.4	Aufenthaltshäufigkeiten.....	25
3.5	Standortspezifische Grenzwerte für das kollektive Risiko.....	25
3.6	Vereisungsrelevante WEA-Systeme.....	26
3.6.1	WEA-interne Eiserkennungssysteme.....	26
3.6.2	Optionale Eiserkennungssysteme.....	26
3.6.3	Systeme zur Prävention und Enteisung.....	26
3.6.4	Betriebsführungssystem.....	26
3.7	Risikoreduzierende Maßnahmen.....	26
4	Durchgeführte Untersuchungen.....	27
4.1	Standortbesichtigung.....	27
4.2	Vereisungsbedingungen am Standort.....	27
4.3	Ermittlung der potentiellen Gefährdungsbereiche.....	28
4.4	Eiswurf.....	29
4.5	Eisfall.....	30
5	Weitere Maßnahmen.....	31
5.1	Eisfall.....	31
6	Zusammenfassung.....	32
6.1	Potentielle Gefährdungsbereiche.....	32
6.2	Eiswurf.....	32



6.3 Eisfall.....	33
7 Formelzeichen und Abkürzungen.....	34
8 Literaturangaben.....	35
Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eiswurf.....	37
A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten.....	37
A.2 Schadenshäufigkeiten.....	38
Anhang B: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall.....	39
B.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten.....	39
B.2 Schadenshäufigkeiten.....	40

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 Schierenberg (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von neun Windenergieanlagen (WEA 1 - 9).

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 die Bundesstraße B246, die Kreisstraße K6708 sowie die Feldstraße Fünfeichenmühle, welche im Rahmen dieser Untersuchung als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.3.1).

Die WEA 1 – 9 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 am Standort wurden /3.1/ entnommen und sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt.

Die vorliegenden Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Schierenberg 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 33)
1	A [m/s]	5.5	5.2	5.6	6.6	7.0	6.4	7.0	7.7	9.0	9.1	7.2	6.1	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.57	2.90	2.77	2.62	2.68	2.72	2.46	2.45	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.043	0.039	0.043	0.073	0.100	0.066	0.069	0.100	0.163	0.162	0.086	0.053	Nord
2	A [m/s]	5.4	5.2	5.5	6.5	7.0	6.3	6.9	7.6	8.9	8.9	7.2	6.1	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.57	2.89	2.77	2.62	2.68	2.72	2.46	2.44	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.044	0.040	0.043	0.073	0.100	0.066	0.069	0.101	0.164	0.162	0.086	0.053	Nord
3	A [m/s]	5.4	5.2	5.5	6.5	7.0	6.4	7.0	7.6	9.0	8.9	7.2	6.1	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.56	2.89	2.77	2.62	2.68	2.72	2.46	2.45	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.044	0.039	0.043	0.071	0.101	0.067	0.070	0.101	0.162	0.161	0.087	0.054	Nord
4	A [m/s]	5.5	5.2	5.5	6.5	7.1	6.5	7.1	7.6	9.1	8.7	7.3	6.3	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.56	2.88	2.76	2.62	2.68	2.72	2.47	2.44	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.045	0.039	0.042	0.070	0.101	0.068	0.072	0.101	0.159	0.159	0.088	0.055	Nord
5	A [m/s]	5.6	5.2	5.4	6.5	7.2	6.6	7.2	7.8	9.0	8.7	7.4	6.4	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.56	2.88	2.77	2.62	2.68	2.72	2.47	2.44	2.23	Ost
	f (100%=1)	0.045	0.039	0.041	0.07	0.101	0.069	0.073	0.102	0.158	0.158	0.088	0.056	Nord
6	A [m/s]	5.6	5.2	5.4	6.4	7.1	6.7	7.2	7.7	8.8	8.7	7.3	6.3	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.56	2.88	2.75	2.62	2.67	2.72	2.47	2.43	2.23	Ost
	f (100%=1)	0.045	0.039	0.041	0.069	0.101	0.070	0.074	0.102	0.156	0.156	0.09	0.057	Nord



Wind-Datensatz Nr.	Parameter	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 33)
7	A [m/s]	5.5	5.2	5.5	6.6	7.2	6.6	7.1	7.6	9.0	8.9	7.4	6.2	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.55	2.88	2.75	2.62	2.68	2.72	2.47	2.44	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.044	0.039	0.042	0.071	0.102	0.068	0.071	0.100	0.159	0.161	0.089	0.055	Nord
8	A [m/s]	5.6	5.4	5.6	6.6	7.4	6.7	7.3	7.9	9.2	9.1	7.4	6.3	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.28	2.56	2.88	2.76	2.61	2.68	2.72	2.46	2.45	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.044	0.039	0.042	0.071	0.101	0.067	0.071	0.101	0.161	0.16	0.087	0.055	Nord
9	A [m/s]	5.5	5.2	5.5	6.6	7.2	6.5	7.0	7.5	8.8	8.8	7.3	6.2	Höhe über Grund [m]
	k [-]	2.15	2.19	2.27	2.55	2.88	2.76	2.62	2.68	2.72	2.48	2.44	2.22	Ost
	f (100%=1)	0.044	0.038	0.042	0.071	0.102	0.068	0.070	0.099	0.158	0.162	0.090	0.055	Nord

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

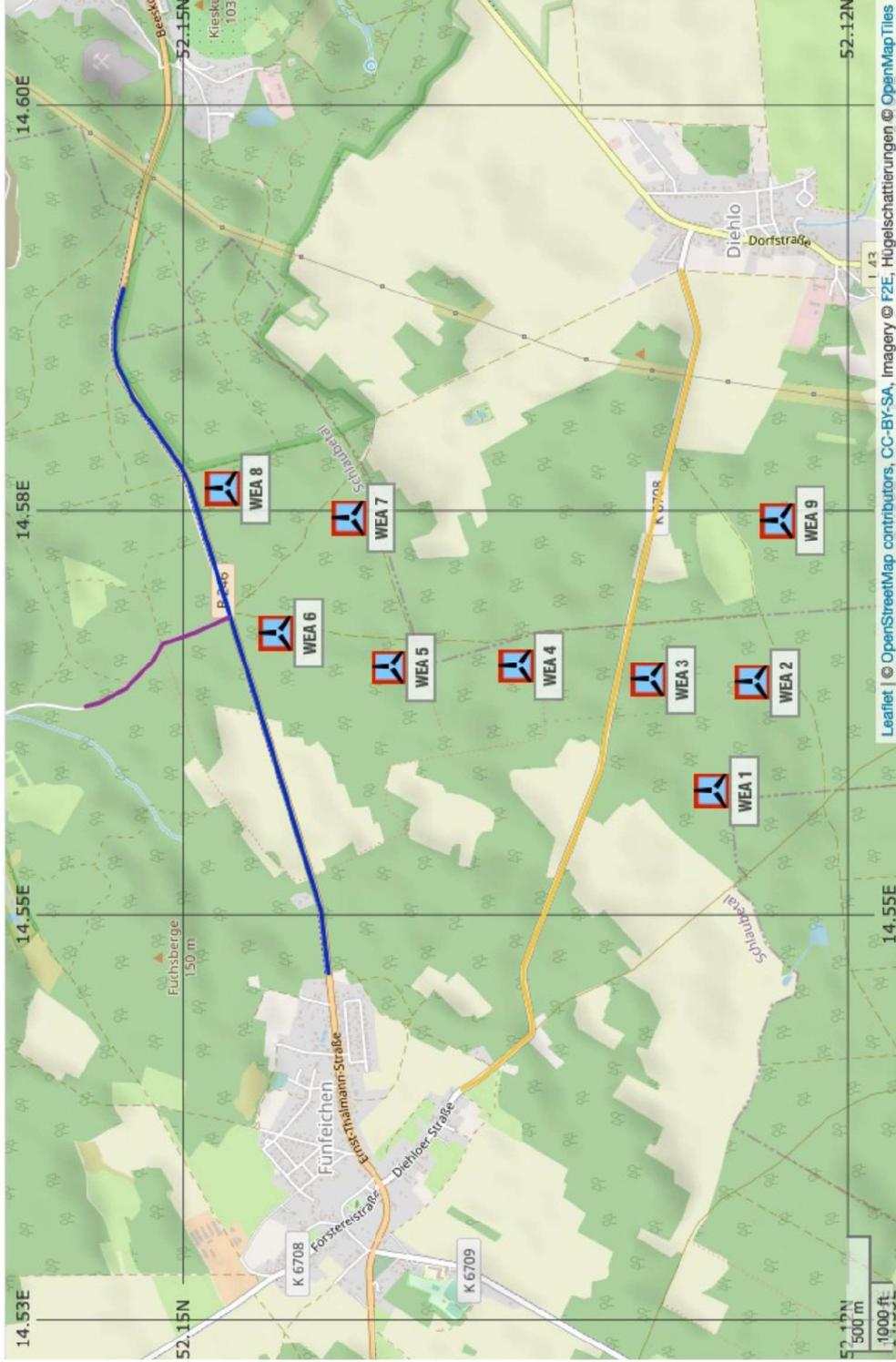


3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Tabelle 3.3.1: Windparkkonfiguration.

Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 33)		Hersteller	WEA-Typ	P _N [MW]	NH [m]	RD [m]	Wind- Datensatz Nr.
		East	North						
	ABO 01	33469719	5775604	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	1
	ABO 02	33470176	5775430	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	2
	ABO 03	33470194	5775863	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	3
	ABO 04	33470257	5776416	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	4
	ABO 05	33470250	5776945	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	5
	ABO 06	33470402	5777418	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	6
	ABO 07	33470885	5777111	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	7
	ABO 08	33471011	5777640	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	8
	ABO 09	33470867	5775318	Vestas	V150	6.0	169.0	150.0	9

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



Symbole	
	Zu bewertende WEA
	Zu berücksichtigende WEA
	Sonstige WEA

Schutzobjekte	
	1: Bundesstraße B246
	2: Kreisstraße K6708
	3: Fünfeichenmühle

Abbildung 3.3.1: Lage des Standortes und der Schutzobjekte, Karte (1./4.).

Referenzpunkte der Winddaten



3.4 Aufenthaltshäufigkeiten

Nach /3.2/ wurde am Zählpunkt auf der Bundesstraße B246 zwischen Schönfließ und Fünfeichen eine Verkehrsbelastung von 4833 Kfz pro Tag ermittelt.

Auf der Kreisstraße K6708 zwischen Diehlo und Fünfeichen existiert kein Zählpunkt. Aufgrund der Ortskenntnis des Auftraggebers wird von einem Zwanzigstel der Verkehrsbelastung der Bundesstraße B246 ausgegangen. Im Folgenden wird von einem Verkehrsaufkommen von 250 Kfz pro Tag und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 20 Personen pro Tag auf der Kreisstraße K6708 ausgegangen.

Die Feldstraße Fünfeichenmühle führt zu einem z. Zt. geschlossenen Restaurant und Fischteichen. Das Verkehrsaufkommen auf der Feldstraße bei Vereisungsbedingungen wird mit 50 Kfz und 30 Fußgängern abgeschätzt.

Für die als kritische Individuen (siehe Kapitel 2.3.3) zu betrachtenden Fußgänger wird angenommen, dass ein individueller Fußgänger im Winter die Kreisstraße K6708 und die Feldstraße Fünfeichenmühle zweimal täglich mit einer Geschwindigkeit von 5km/h nutzt.

3.5 Standortspezifische Grenzwerte für das kollektive Risiko

Für Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen wurden die Grenzwerte auf Basis des vorhandenen Unfallrisikos bestimmt (siehe Kapitel 2.3.2). Tabelle 3.5.1 listet die standortspezifisch ermittelten oberen Grenzwerte für ein inakzeptables Risiko. Die weiteren Risikobereiche gemäß Tabelle 2.3.3.1 liegen jeweils eine Zehnerpotenz niedriger und sind nicht extra aufgeführt.

Tabelle 3.5.1: Standortspezifische obere Risikogrenzwerte für das kollektive Risiko.

Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko Grenzwert für ein inakzeptables Risiko
Bundesstraße B246	$> 4.37 \cdot 10^{-3}$ (einmal in 229 Jahren)

Für Kreisstraßen und sonstige Straßen, für die das kollektive Risiko maßgeblich ist, gilt der pauschale Grenzwert für das kollektive Personenrisiko von $1.0 \cdot 10^{-3}$ (siehe Kapitel 2.3.2).



3.6 Vereisungsrelevante WEA-Systeme

3.6.1 WEA-interne Eiserkennungssysteme

Die WEA 1 - 9 besitzen kein internes Eiserkennungssystem, das für die Bewertung von Risikoszenarien relevant ist.

3.6.2 Optionale Eiserkennungssysteme

Die WEA 1 - 9 können mit dem Eiserkennungssystem BLADEcontrol Ice Detector (BID) der Firma Weidmüller ausgestattet werden /3.3/. Hierbei 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 /3.4/ 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 /3.5/ typgeprüft /3.6/.

3.6.3 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.

3.6.4 Betriebsführungssystem

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /3.7/ umgesetzt.

3.7 Risikoreduzierende Maßnahmen

Die in den Anhängen A und B 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 Schierenberg wurde am 12.10.2020 besichtigt /3.8/. Die Ergebnisse der Standortbesichtigung sind in /3.8/ dokumentiert und werden soweit erforderlich in den weiteren Berechnungen berücksichtigt.

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

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 durchschnittli-



chen Masse der Eisstücke lässt sich daraus eine Anzahl Eisstücke pro Vereisung ableiten.

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

Tabelle 4.2.1: Vereisungsbedingungen am Standort Schierenberg .

Lfd. Nr. WEA	Vereisungshäufigkeit [%]	Vereisungstage pro Jahr	Eisstücke pro Jahr pro WEA Eisfall	Eisstücke pro Jahr pro WEA Eiswurf
1 - 9	2.1	7.7	1290	3870

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.

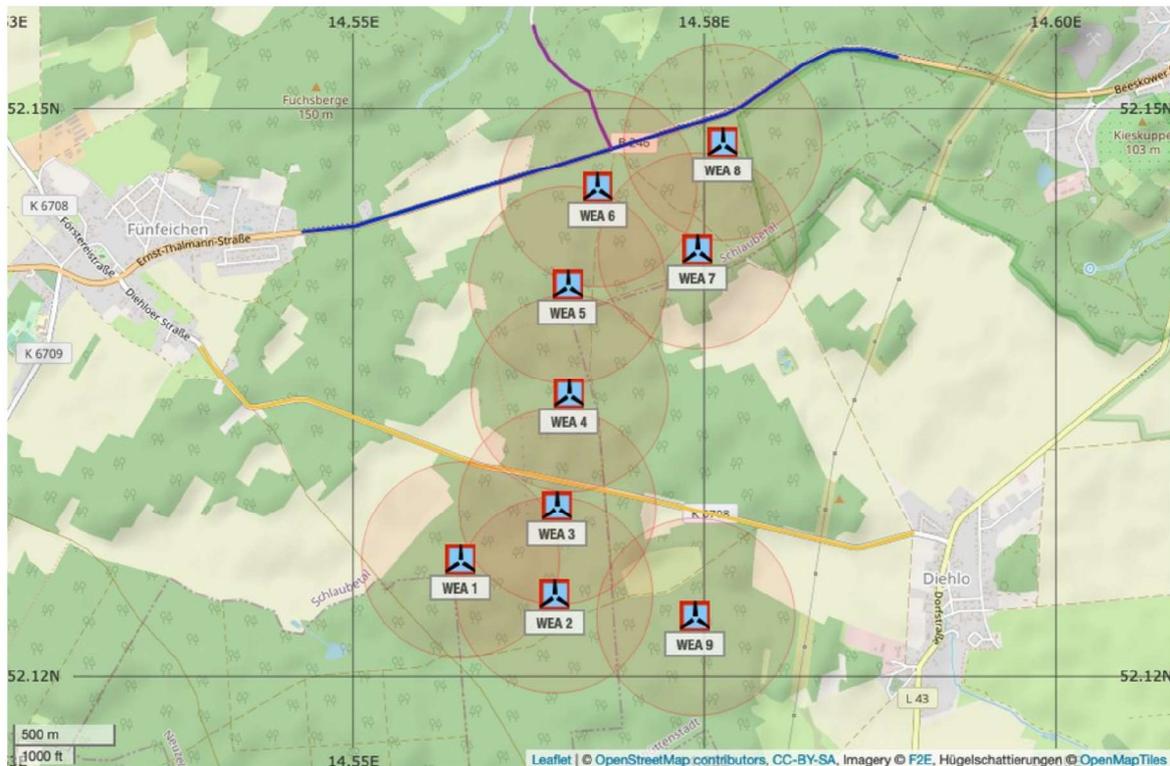


Abbildung 4.3.1: Potentielle Gefährdungsbereiche der WEA 1 - 9 und Schutzobjekte am Standort Schierenberg (Karte /1.4/).



Im potentiellen Gefährdungsbereich der WEA 2, 5, 7 und 9 befinden sich keine der definierten Schutzobjekte. Eine weitere Betrachtung dieser WEA ist im Rahmen der Risikobewertung daher nicht erforderlich.

Für die zu bewertenden WEA 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	Abo 01	478.5	Kreisstraße K6708
	3	Abo 03	478.5	Kreisstraße K6708
	4	Abo 04	478.5	Kreisstraße K6708
	6	Abo 06	478.5	Bundesstraße B246 Fünfeichenmühle
	8	Abo 08	478.5	Bundesstraße B246

4.4 Eiswurf

Für die WEA 3, 6 und 8 ist aufgrund der Nähe zu den Schutzobjekten ein System zur Eiserkennung gemäß Kapitel 3.6 vorzusehen. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu betrachten.

Eine Gefährdung durch Eiswurf für Personen in der Umgebung der WEA 1 und 4 ist standortspezifisch zu betrachten, wenn keines der in Kapitel 3.6 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 vier Bereiche von inakzeptabel bis uneingeschränkt akzeptabel. Damit ergeben sich bezogen auf die betrachteten WEA und Schutzobjekte 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).

Da sich für das Schutzobjekt Kreisstraße K6708 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 4.4.1 gesondert aufgeführt.

Tabelle 4.4.1: Gefährdung durch Eiswurf am Standort Schierenberg.

Bewertung der Gefährdung durch Eiswurf aller Schutzobjekte im Bereich der WEA			
Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K6708	---*	---*
4	Kreisstraße K6708	---*	---*

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

Details der zugrunde liegenden Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.

4.5 Eisfall

Für die WEA 3, 6 und 8 ist aufgrund der Nähe zu den Schutzobjekten ein System zur Eiserkennung gemäß Kapitel 3.6 vorzusehen. 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.

Bezüglich der Berechnung der Trefferhäufigkeiten und der Ermittlung der Gefährdung gelten die gleichen Anmerkungen wie in Kapitel 4.4 zum Szenario Eiswurf.

Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, erfolgt die Bewertung des individuellen und kollektiven



tiven 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).

Da sich für das Schutzobjekt Kreisstraße K6708 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: Gefährdung durch Eisfall am Standort Schierenberg.

Bewertung der Gefährdung durch Eisfall aller Schutzobjekte im Bereich der WEA			
Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
3	Kreisstraße K6708	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	akzeptabel - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich
6	Bundesstraße B246	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	---
	Fünfeichenmühle	---	uneingeschränkt akzeptabel
8	Bundesstraße B246	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	---

Details der zugrunde liegenden Berechnungen sind im Anhang B 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 3, 6 und 8 ermittelten Risiken bezüglich der Schutzobjekte 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 3, 6 und 8 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 Azimutpo-



sition 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 [°]
3	191
6	163
8	163

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 Bundesstraße B246, die Kreisstraße K6708 sowie die Feldstraße Fünfeichenmühle in der Nachbarschaft der WEA definiert.

6.1 Potentielle Gefährdungsbereiche

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA 2, 5, 7 und 9 haben keine Überschneidung mit den Schutzobjekten Bundesstraße B246, Kreisstraße K6708 oder Fünfeichenmühlen. Eine weitere Betrachtung ist im Rahmen der Risikobewertung daher nicht erforderlich.

Die Gefährdungsbereiche der WEA 1, 3, 4, 6 und 8 überschneiden die Schutzobjekte Bundesstraße B246, Kreisstraße K6708 oder die Feldstraße Fünfeichenmühlen und sind daher in der weiteren Risikobewertung zu betrachten.

6.2 Eiswurf

Abschließend kann festgestellt werden, dass aufgrund der geforderten Systeme zur Eiserkennung eine Gefährdung durch Eiswurf von den betrachteten WEA 3, 6 und 8 ausgeschlossen werden kann.

Die Berechnungen zeigen, dass die Schutzobjekte nicht durch Eisstücke von den betrachteten WEA 1 und 4 getroffen werden. Eine weitere Betrachtung des Risikos ist



daher nicht erforderlich.

6.3 Eisfall

Für die WEA 1 und 4 kann abschließend festgestellt werden, dass im vorliegenden Fall das Risiko durch Eisfall bezüglich der Schutzobjekte durch die Bewertung des Risikos durch Eiswurf abgedeckt ist.

Für die WEA 3, 6 und 8 kann aufgrund der geforderten Systeme zur Eiserkennung eine Gefährdung durch Eiswurf von den betrachteten WEA ausgeschlossen werden.

Die abschließende Bewertung des Risikos durch Eisfall ist in Tabelle 6.3.1 für alle WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt.

WEA, in deren potentiellen Gefährdungsbereich (siehe Tabelle 4.3.1) bzw. in deren standortspezifisch ermittelten Gefährdungsbereich (siehe Anhang B) 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
3	Kreisstraße K6708	akzeptabel	---	Kapitel 5
6	Bundesstraße B246	akzeptabel	---	Kapitel 5
	Fünfeichenmühle	akzeptabel	---	---
8	Bundesstraße B246	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]
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.

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/ Ramboll Deutschland GmbH; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt: 21-1-2104-000 Schierenberg Vorabschätzung; 18.11.2021; Kassel, Deutschland.
- /3.2/ LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg); Straßennetzviewer, Verkehrsstärke 2015; siehe Internet: <https://bb-viewer.geobasis-bb.de/strassennetz/>, abgerufen am 16.10.20.
- /3.3/ Vestas Deutschland GmbH; Allgemeine Spezifikation BLADEcontrol Ice Detector, Rotorblattvereisungsüberwachung, Dokument Nr. : 0027-7735.V05; 09.09.2016.
- /3.4/ 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.
- /3.5/ DNV GL AS; Certification of condition monitoring, DNVGL-SE-0439:2016-06; June 2016.
- /3.6/ 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.
- /3.7/ Vestas Wind Systems AS; RPM curves, EnVentus, V150–6.0 MW 50/60 Hz; Document no.: 0098-0883 V0; 2021-01-29; Arhus, Denmark.
- /3.8/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Risikobewertung durch Eiswurf und Eisfall am Standort Schierenberg; Referenz-Nr.: F2E-2021-TGZ-018; Oktober 2020; Hamburg, Deutschland.



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 Schierenberg.

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
1	333.5
4	330.1

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

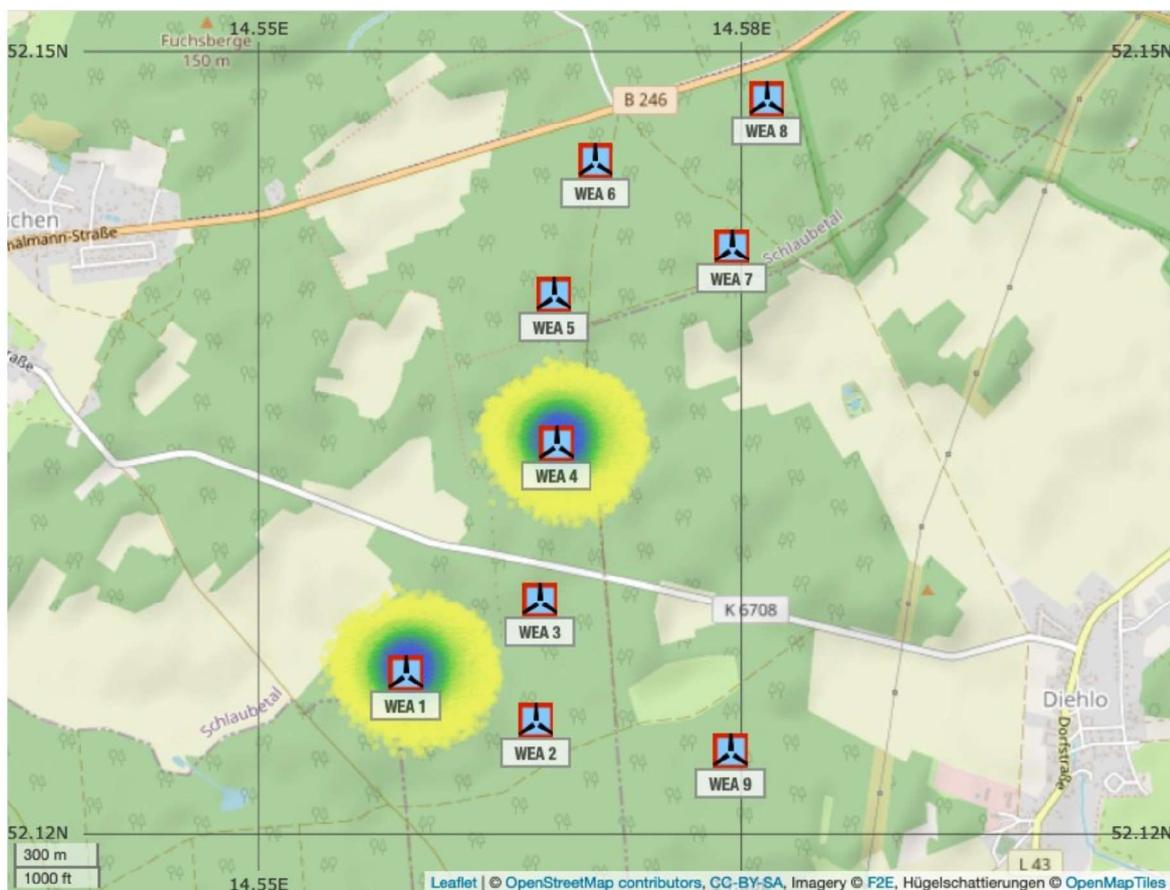


Abbildung A.1.1: Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m²) und Jahr in der Umgebung der WEA 1 und 4 am Standort Schierenberg (Karte /1.4/).



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 Randbedingungen.

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

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
WEA 1	Kreisstraße K6708	0.0
WEA 4	Kreisstraße K6708	0.0

Die Kreisstraße K6708 wird nicht von Eisstücken getroffen.



Anhang B: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall

B.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

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

Tabelle B.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Eisstücke am Standort Schierenberg.

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
3	286.2
6	282.9
8	304.5

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

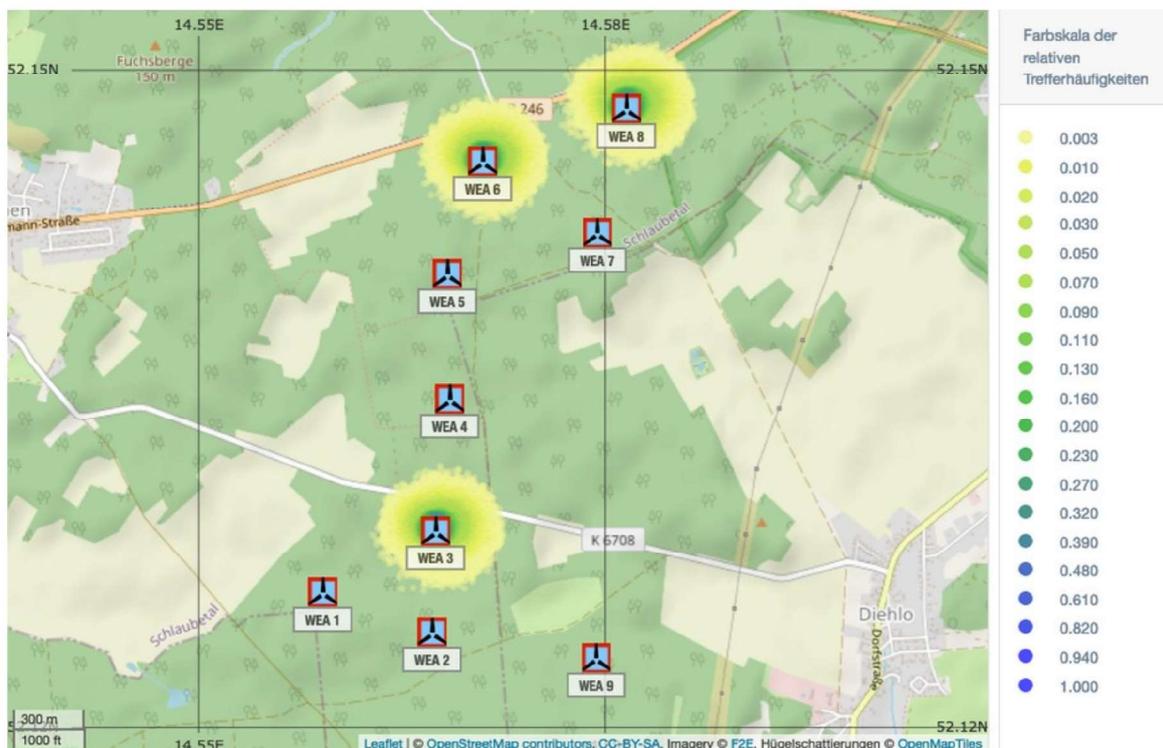


Abbildung B.1.1: Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m²) und Jahr in der Umgebung der WEA 3, 6 und 8 am Standort Schierenberg (Karte /1.4/).



B.2 Schadenshäufigkeiten

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

Tabelle B.2.1: Randbedingungen für die Bewertung von Sach- bzw. Personenschäden am Standort Schierenberg.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
3	Kreisstraße K6708	3.9
6	Bundesstraße B246	1.3
	Fünfeichenmühle	0.02
8	Bundesstraße B246	5.2

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 B.2.2 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

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



Tabelle B.2.2: Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Schierenberg.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
3	Kreisstraße K6708	$1.23 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 8100 Jahren)	$6.30 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.5 Mio. Jahren)
6	Bundesstraße B246	$9.92 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 1000 Jahren)	$2.74 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 3.6 Mio. Jahren)
	Fünfeichenmühle	$1.35 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 7.4 Mio. Jahren)	$4.00 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.2 Mrd. Jahren)
8	Bundesstraße B246	$3.90 \cdot 10^{-3}$ (einmal in 257 Jahren)	$1.08 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 930 000 Jahren)