Gutachterliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung für den Windpark Perl Potsdamer Platz Erweiterung WEA01

	Funktion	Name	Datum
Autor	TENT1	Dr. Jan Hauschild	17.09.2020
Überprüfung	TENK1	Harald Keller	17.09.2020
Zustimmung	TEN	Thorsten Reimetz	17.9.2020

© Silver Atena GmbH

Revision

Rev.	Datum	Autor	Änderung	Beschreibung der Änderung
1	17/09/2020	Dr. Jan Hauschild	Alle	Ersterstellung

8073 Rev.: 002

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbemerkung/Zielsetzung 5
1.1 Abkürzungsverzeichnis 5
2 Liste der Empfehlungen 6
2.1 Eisabwurf & Eisabfall 6
2.2 Rotorblattbruch 6
2.3 Turmversagen 6
3 Beschreibung der WEA-Planungen 7
4 Grundlagen zur Risikobeurteilung 8
4.1 Begriffsbestimmungen 8
4.2 Risikobeurteilung 8
4.2.1 Einleitung 8
4.2.2 Risikoanalyse 9
4.2.3 Risikobewertung & -behandlung 11
4.3 Prüfpunkte zur Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall 12
4.4 Prüfpunkte zur Bewertung der Gefährdung durch Rotorblattbruch 12
4.5 Prüfpunkte zur Bewertung der Gefährdung durch Turmversagen 12
5 Risikobeurteilung 13
5.1 Eisabwurf & Eisabfall 13
5.1.1 Prüfpunkt 1 – Abstandsradius nach DIBt 13
5.1.2 Prüfpunkt 2 – Eiserkennung oder – vermeidung 13
5.1.3 Prüfpunkt 3 – Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall 13
5.1.4 Schutzmaßnahmen – Eisabwurf & Eisabfall 14
5.2 Rotorblattbruch 15
5.2.1 Gefährdung durch Rotorblattbruch 15
5.2.2 Schutzmaßnahmen – Rotorblattbruch 15
5.3 Turmversagen 16
5.3.1 Gefährdung durch Turmversagen 16
5.3.2 Schutzmaßnahmen – Turmversagen 16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht zur Standortplanung 7
Abbildung 2: Prozess zur Risikominderung nach DIN EN ISO 12100 [12]. 9
Abbildung 3: Standortplan mit Abstandsradien nach DIBt [2]. 13
Abbildung 4: Eisabwurf & Eisabfall – Standortplan mit Trefferwahrscheinlichkeiten pro m². 14
Abbildung 5: Rotorblattbruch – Standortplan mit Trefferwahrscheinlichkeiten pro m². 15
Abbildung 6: Turmversagen – ermittelte Gefährdungsbereiche je Schutzobjekt 16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis 5
Tabelle 2: Auflistung der Standortkoordinaten 7
Tabelle 3: Beschreibung der Schutzobjekte 7
Tabelle 4: Begriffsbestimmungen zur Risikobeurteilung 8
Tabelle 5: Eisabwurf & Eisabfall – Risikobewertung 14
Tabelle 6: Rotorblattbruch – Risikobewertung 15
Tabelle 7: Turmversagen – Risikobewertung 16

8073 Rev.: 002

Literaturverzeichnis

[1] BImSchG 2017. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Fassung 18.7.2017.
[2] DIBt 2019. Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Ausgabe 2019/1
[3] Juwi AG 2020. Bestellung 601004978 - Ergebnisreport Eisabfall, Rotorblattbruch u. Turmversagen für das Projekt Perl-E. Datum 29.06.2020.
[4] Juwi AG 2020. Perl Erweiterung, Lageplan mit geplanter WEA inkl. Rotorblattradius und Schutzobjekten. 18.08.2020.
[5] DNV GL 2019. Typenzertifikat - Eisdetektorsystem BLADEcontrol Ice Detector (BID). Datum 18.10.2018. Gültig bis 19.10.2020.
[6] DNV GL 2019. Gutachten - Ice Detection System - Integration des BLADEcontrol Ice Detector BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen. Datum: 07.01.2019.
[7] Juwi AG 2020. Analyse der Windverhältnisse am Standort Perl-E, Stand 13.08.2020.
[8] Juwi AG 2020. Angaben zu den Schutzobjekten, Stand 23.07.2020.
[9] Juwi AG 2020. Vereisungsbedingungen am Standort Perl-E, Stand 23.07.2020.
[10] Tammelin, B. et al. Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014), ISBN 951-679-518-6. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland. 2000.
[11] RICHTLINIE 2006/42/EG- Richtlinie über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG. Fassung Mai 2006.
[12] DIN EN ISO 12100, Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleit-sätze — Risikobeurteilung und Risikominderung. Fassung März 2011.
[13] DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Fassung Oktober 2018
[14] DNVGL-ST-0438 Standard: Control and protection systems for wind turbines. April 2016
[15] Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
[16] Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
[17] Hauptmanns, U.; Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV, Band 18. November 2010.
[18] Green Book. Methods for the determination of possible damage – first edition. Voorburg 1989
[19] Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG.
[20] Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
[21] Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
[22] Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
[23] Rademakers, L. et al. Handboek Risicozonering Windturbines. Versie 2, jan2005. SenterNovem, Nederland. 2005.
[24] GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
[25] DGUV-Statistiken für die Praxis 2018. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). 2018.
[26] DE STATIS. Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2018
[27] Silver Atena GmbH. Wind Energy Risk Assessment, Fundamentals. 2020

8073 Rev.: 002

1 Vorbemerkung/Zielsetzung

Die Juwi AG plant am Projektstandort „Windpark Perl Potsdamer Platz Erweiterung WEA01“ die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA) des Typs Vestas V150 5.6 MW, mit 150 m Rotordurchmesser und 166 m Nabenhöhe. In der Nähe des geplanten Standorts befinden sich

- die Bundesstraße B 406 sowie
- umliegende Wirtschaftswege.

Gemäß Anlage A 2.7/12 der Liste der Technischen Baubestimmungen des DIBt [2] sind Abstände zu Verkehrswegen und Gebäuden wegen der Gefahr des Eisabwurfs einzuhalten, soweit eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit nicht auszuschließen ist. Abstände größer als 1,5 x (Rotordurchmesser plus Nabenhöhe) gelten im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. Werden Abstände wegen der Gefahr des Eisabwurfes nicht eingehalten, so ist eine gutachterliche Stellungnahme eines Sachverständigen zur Funktionssicherheit von Einrichtungen, durch die der Betrieb der Windenergieanlage bei Eisansatz sicher ausgeschlossen werden kann oder durch die ein Eisansatz verhindert werden kann (z.B. Rotorblattheizung) erforderlich.

Zudem haben Betreiber von Windenergieanlagen (WEA) gemäß BImSchG §5 Abs. 1 Nr. 1 [1] dafür Sorge zu tragen, dass schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Zur Vorsorge sind Maßnahmen, die dem Stand der Technik entsprechen, zu treffen.

Der Auftragnehmer wurde durch den Auftraggeber mit der Beurteilung der Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen beauftragt [3]. Die Untersuchung weiterer Gefährdungen sowie die Beurteilung von Sachschäden sind nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Die vorliegende Untersuchung fasst die Erkenntnisse und den technischen Stand zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes zusammen. Diese gutachterliche Stellungnahme beinhaltet erarbeitete Empfehlungen zur Risikominderung - deren Umsetzung liegt im Entscheidungsbereich des Kunden.

Nachstehend erfolgt zunächst eine kurze Darstellung des Standortes, der Windenergieanlagen (WEA), der Schutzobjekte (SO), der Grundlagen zur Risikobeurteilung sowie die Gesamtbeurteilung der einzelnen Ergebnisse zur Risikobeurteilung.

1.1 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen	Beschreibung
B	Bundesstraße
BID	Eiserkennungssystem (nach DNV GL)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
D	Rotordurchmesser
DGM	Digitales Gelände Modell
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
MEM	Minimum Endogenous Mortality
NH	Nabenhöhe
Pkw	Personenkraftwagen
SO	Schutzobjekt
WEA	Windenergieanlage

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis

8073 Rev.: 002

2 Liste der Empfehlungen

2.1 Eisabwurf & Eisabfall

Maßnahmen zur Risikominderung für die Schutzobjekte: Bundesstraße B 406

[E 1] Der Wiederanlauf nach erkanntem Eisansatz muss nach einer validen Prüfung erfolgen (visuell oder via Zustandsüberwachung). Für das vorgesehene System BLADEcontrol® Eiserkennungssystem (BID) [5] liegt seitens DNV GL ein positives Prüfergebnis (BLADEcontrol integriert in Vestas WEA) zum Abschalten bei Eisansatz und Wiederanfahren bei eisfreiem Zustand vor (Stand Juni 2019 [6]).

[E 2] Durch Warnschilder (an den exponierten Abschnitten im Abstand des Rotordurchmessers der WEA) ist auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Warnschilder sind so zu errichten, dass diese auch bei Vereisung und Schneefall gut sichtbar sind. Hinweis: Es besteht kein Bedarf diese Warnschilder aktiv auszulegen.

2.2 Rotorblattbruch

Es gibt keine Maßnahmen zur Risikominderung für die Schutzobjekte: Bundesstraße B 406 und Wirtschaftswege, die erforderlich sind.

2.3 Turmversagen

Es gibt keine Maßnahmen zur Risikominderung für die Schutzobjekte: Bundesstraße B 406 und Wirtschaftswege, die erforderlich sind.

8073 Rev.: 002

3 Beschreibung der WEA-Planungen

Der Standort der geplanten WEA sowie die zu betrachtenden Schutzobjekte können der Abbildung 1 entnommen werden, die Standortkoordinaten sind der Tabelle 2 zu entnehmen [3].

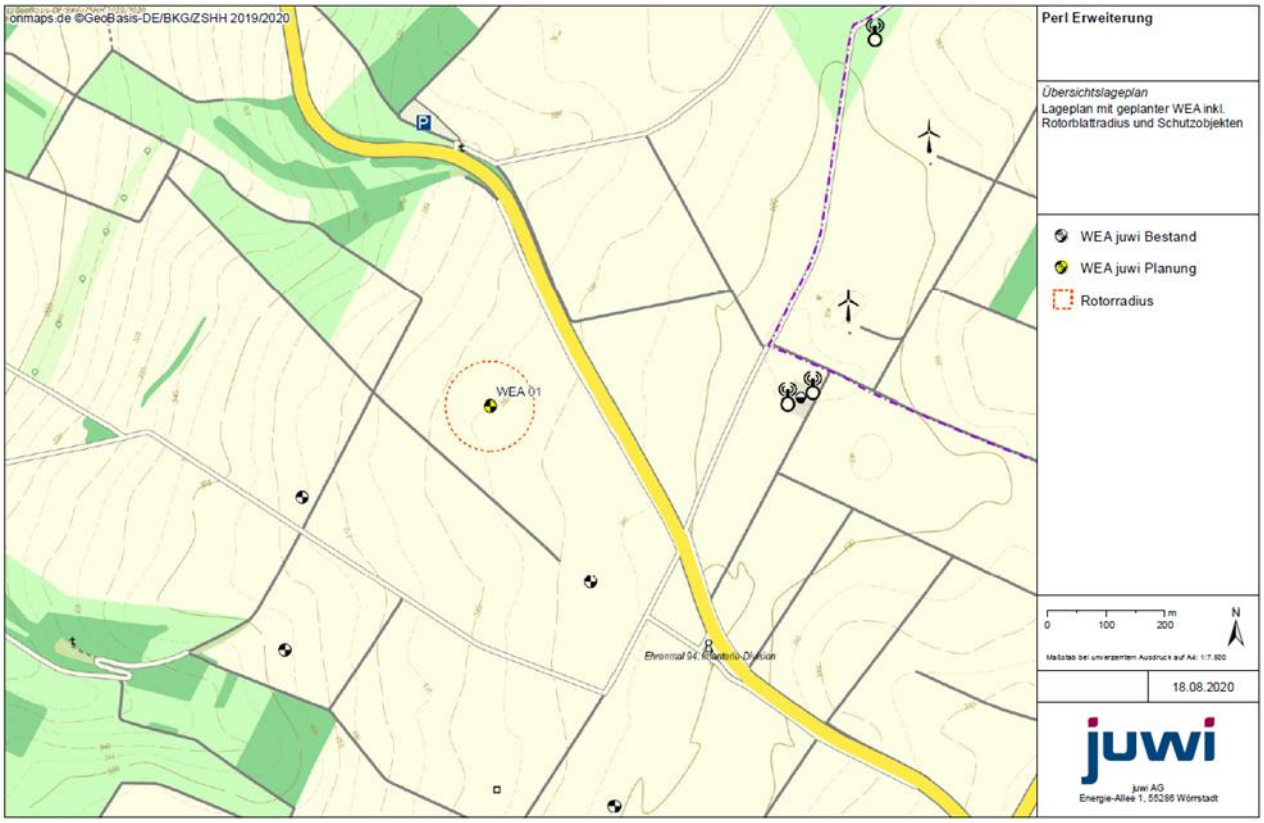


Abbildung 1: Übersicht zur Standortplanung

WEA Identifikationsnummer	Standortkoordinaten		Gründungshöhe [m NHN]
	X ETRS32	Y ETRS32	
WEA01	314785	5488629	388,0

Tabelle 2: Auflistung der Standortkoordinaten

In der Nähe der geplanten WEA befinden sich die folgenden Schutzobjekte.

Schutzobjekt	Beschreibung	Exposition
B 406	• östlich der geplanten WEA • kürzester Abstand von ca. 156,7 m zur WEA	Verkehrsteilnehmer auf der B 406
Wirtschaftswege	• in der Umgebung der geplanten WEA • kürzester Abstand von ca. 112,6 m zur WEA	Verkehrsteilnehmer auf den Wirtschaftswegen

Tabelle 3: Beschreibung der Schutzobjekte

Die Vereisungshäufigkeit am Projektstandort „Windpark Perl Erweiterung WEA01“ liegt auf Basis von der Eiskarte Europa des finnischen meteorologischen Instituts [10] mit 8 bis 14 Tagen/Jahr bestätigen können. Die Vereisungshäufigkeit ist somit als moderat zu bezeichnen.

8073 Rev.: 002

4 Grundlagen zur Risikobeurteilung

4.1 Begriffsbestimmungen

Zur Risikobeurteilung werden die folgenden Begriffe u.a. nach Maschinenrichtlinie [11] und DIN EN ISO 12100 „Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung und Risikominderung“ [12] genutzt.

Begriff	Begriffsbestimmung
Gefährdung	bezeichnet eine potenzielle Quelle von Verletzungen oder Gesundheitsschäden [11] → z.B. WEA mit Eisansatz.
Gefahrenbereich	bezeichnet den Bereich in einer Maschine und/oder in ihrem Umkreis, in dem die Sicherheit oder die Gesundheit einer Person gefährdet ist [11] → z.B. Eisabwurf-Abstandsradius nach DIBt [2].
Gefährdungssituation	bezeichnet eine Sachlage, bei der eine Person mindestens einer Gefährdung ausgesetzt ist [12] → z.B. Verkehrsteilnehmer innerhalb Eisabwurf-Abstandsradius nach DIBt [2].
Risiko	bezeichnet die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit und der Schwere einer Verletzung oder eines Gesundheitsschadens, die in einer Gefährdungssituation eintreten können [11] → z.B. Verkehrsteilnehmer wird von Eisobjekt getroffen.
Schutzmaßnahme	bezeichnet eine vorgesehene Maßnahme zur Minderung des Risikos [12] → z.B. Eiserkennungssystem zur Vermeidung von Eisabwurf von der laufenden WEA (siehe DIBt [2]).
Restrisiko	bezeichnet das verbleibende Risiko, nachdem Schutzmaßnahmen ergriffen wurden [12] → z.B. Eisabwurf von der laufenden WEA in Folge eines fehlerhaften Eiserkennungssystems.
Risikobeurteilung	bezeichnet die Gesamtheit des Verfahrens, das eine Risikoanalyse und Risikobewertung umfasst [12].
Risikoanalyse	bezeichnet die Kombination aus Festlegung der Grenzen der Maschine, Identifizierung der Gefährdung und Risikoeinschätzung [12].
Risikobewertung	bezeichnet die auf der Risikoanalyse beruhende Beurteilung, ob die Ziele zur Risikominderung erreicht wurden [12].
Risikoeinschätzung	bezeichnet die Bestimmung des wahrscheinlichen Ausmaßes eines Schadens und der Wahrscheinlichkeit seines Eintritts [12].
hinreichende Risikominderung	bezeichnet die Risikominderung, die unter Berücksichtigung des Standes der Technik zumindest den gesetzlichen Anforderungen entspricht [12].
Schutzobjekt	Allgemeinheit, Nachbarschaft, Nutzer von Verkehrswegen (Personen / PKW) im Sinne BImschG [1], DIBt [12].
Eisabwurf	Emittierte Eisobjekte von der betriebenen/laufenden WEA.
Eisabfall	Emittierte Eisobjekte von der stehenden/trudelnden WEA.

Tabelle 4: Begriffsbestimmungen zur Risikobeurteilung

4.2 Risikobeurteilung

4.2.1 Einleitung

Gemäß Maschinenrichtlinie [11] und zugehöriger Standards [12] entspricht eine Risikobeurteilung der Gesamtheit des Verfahrens, das eine Risikoanalyse und Risikobewertung umfasst. Die Risikoanalyse entspricht der Kombination aus Festlegung der Grenzen der Maschine, Identifizierung der Gefährdungen und Risikoeinschätzung [12]. Auf Basis der Risikoanalyse erfolgt abschließend mit der Risikobewertung die Beurteilung, ob die Ziele zur Risikominderung erreicht wurden [12]. Ggf. sind Schutzmaßnahmen zur Risikominderung zu definieren, um eine hinreichende Risikominderung zu erreichen. Das Vorgehen zur Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 12100 [12] ist in Abbildung 2 dargestellt.

8073 Rev.: 002

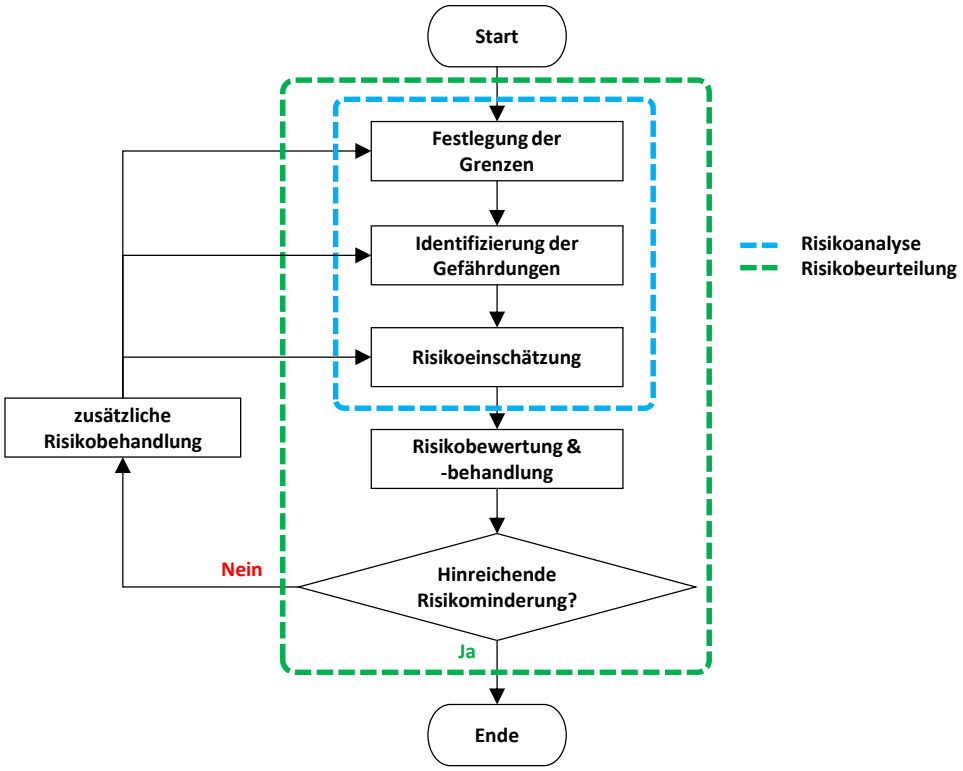


Abbildung 2: Prozess zur Risikominderung nach DIN EN ISO 12100 [12].

In den folgenden Kapiteln 4.2.2 bis 4.2.3 wird kurz auf die Schritte der Risikobeurteilung eingegangen.

4.2.2 Risikoanalyse

Festlegung der Grenzen

Die Festlegung der Grenzen erfolgt unter Berücksichtigung sämtlicher Phasen der Lebensdauer der WEA.

Bezogen auf die Bewertung der Gefährdung Eisabwurf und Eisabfall sind die Betriebsarten „Betrieb bei Vereisung", „Trudeln bei Vereisung" und „Wiederanfahren nach erfolgter Abschaltung bei Eisansatz" von besonderer Bedeutung. Die Grenzen sind zusätzlich durch die gegebenen Randbedingungen - Lage der Schutzobjekte, Topographie, Wind- und Vereisungsbedingungen definiert.

Bezogen auf die Bewertung der Gefährdungen Rotorblattbruch und Turmversagen ist der Betrieb der WEA von besonderer Bedeutung. Die Grenzen sind zusätzlich durch die gegebenen Randbedingungen - Lage der Schutzobjekte, Topographie, Windbedingungen und Rotordrehzahl definiert.

Identifizierung der Gefährdungen

Der Auftragnehmer wurde durch den Auftraggeber mit der Beurteilung der Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen beauftragt [3], welche im Sinne des BImSchG §5 eine sonstige Gefahr darstellen. Die Ermittlung und Bewertung weiterer Gefährdungen ist nicht Bestandteil dieses Auftrags.

Risikoeinschätzung

Risiko bezeichnet die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit und der Schwere einer Verletzung oder eines Gesundheitsschadens, die in einer Gefährdungssituation eintreten können [11].

Im Rahmen dieser Untersuchungen wird für die Ermittlung des Individualrisikos R_{ind} allgemein die folgende Gleichung herangezogen:

$$R_{ind} = f \cdot M_{SO} \cdot I_{SO} \cdot k.$$

Gleichung 4-1

- f **[Gefährdung / Jahr]** ist die Häufigkeit von Gefährdungen pro Jahr.
- M_{SO} **[SO]** ist ein Durchschnittswert und Maß für die Exposition eines Individuums (z.B Fußgänger / Fahrradfahrer / PKW), in den Gefahrenbereichen.

8073 Rev.: 002

- $\boldsymbol{I_{SO}}$ **[Treffer / (SO * Gefährdung)]** ist die Wahrscheinlichkeit eines Treffers eines Individuums ausgehend von der untersuchten Gefährdung (z.B. Ergebnis der Simulationen nach [16]).
- $\boldsymbol{k}$ ist ein Faktor, mit dem das Schadensausmaß genauer berücksichtigt werden kann. Der Faktor k ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Gefährdung und Schutzobjekt (Eisobjekt / Rotorblatttrümmer / Turmtrümmer → Fußgänger / Fahrradfahrer / PKW).

Allgemein wird für die Ermittlung des Gruppenrisikos $\boldsymbol{R_{grp}}$ die folgende Gleichung herangezogen:

$$\boldsymbol{R_{grp} = f \cdot M_{SO} \cdot I_{SO} \cdot k.}$$

Gleichung 4-2

Die Gleichung für das Gruppenrisiko (Gleichung 4-1) ist identisch mit der des Individualrisikos (Gleichung 4-2), der wesentliche Unterschied liegt in der Größe $\boldsymbol{M_{SO}}$ **[SO]**, hier ein Durchschnittswert und Maß für die Exposition einer Gruppe von Individuen (z.B Fußgänger / Fahrradfahrer / PKW), in den Gefahrenbereichen.

Die Vorgehensweise zur Quantifizierung des Risikos durch Eisabwurf & Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen sind ausführlich in [15], [16] und [27] beschrieben.

4.2.2.1 Ereignishäufigkeiten – Eisabwurf & Eisabfall

Vereisungspotential – Häufigkeit von Eisobjekten pro Jahr

Zur Abschätzung der Häufigkeit von Gefährdungen pro Jahr (siehe Gleichung 4-1und Gleichung 4-2), gilt es die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Die Abschätzung erfolgt auf Basis einer Studie im Rahmen eines Schweizer Forschungsprojekts „Alpine Test Site Gütsch“ [20], [21], [22]. In dieser Studie wurden unter anderem beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte einer WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m statistisch erfasst. Für die in Gütsch betrachtete WEA lässt sich die Anzahl von Eisobjekten pro Vereisung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten konservativ zu 7 Eisobjekte pro Vereisung abschätzen.

Da die Studie „Alpine Test Site Gütsch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen. Eine sinnvolle Basis ist die gebildete Eismenge, welche proportional zu **R^2 (R = D/2)** ist. Diese wird im Anschluss via Dreisatz auf die zu bewertende WEA umgerechnet. Das Verhältnis wird dann auf die Anzahl von Eisobjekten pro Vereisung übertragen**.**

K-Faktor

Gemäß der in [17], [18] beschriebenen Probit Beziehungen kann eine Bewertung des Schadensaumaßes (z. B. in Folge Kopftreffer durch ein Eisobjekt) durchgeführt werden. Ergebnis ist die Schadenswahrscheinlichkeit mit der ein Kopftreffer einen tödlichen Unfall zur Folge hat.

Auf Basis durchgeführter Studien [16] haben sich die folgenden Parameter zur Berücksichtigung des Schadensausmaß bewährt:

- **k = 0,25** für einen Personentreffer (Fußgänger) durch Eisobjekte.
- **k = 0,5** für einen Personentreffer (Radfahrer) durch Eisobjekte.
- **k = 1** für einen Personentreffer (PKW) durch Eisobjekte.

4.2.2.2 Ereignishäufigkeiten – Rotorblattbruch

Häufigkeit von Rotorblattbruch pro Jahr

Zur Abschätzung der Häufigkeit von Gefährdungen pro Jahr (siehe Gleichung 4-1und Gleichung 4-2), gilt es die Häufigkeit für das Ereignis Rotorblattbruch abzuschätzen. Unter Rotorblattbruch wird der Bruch des gesamten Rotorblattes ab Nabe oder Bruch an beliebiger Stelle zwischen Rotorblattnabe und Rotorblattspitze mit Ausnahme von Kleinteilen verstanden. Die Flugbahn eines Blattbruchstückes wird durch das Zusammenspiel der angreifenden Kräfte charakterisiert. Dies sind die Schwerkraft, die Trägheitskräfte und die aus der Luftströmung resultierenden Druckkräfte.

Nach Auswertung von Schadensereignissen von SenterNovem (Handboek Risicozonering Windturbines, Niederlande 2005 [23]) wird die Häufigkeit für das Ereignis Rotorblattbruch zu **f = 1,0E-03**[1] pro WEA und Jahr geschätzt.

[1] 1E-03 = 10^{-3} = 1/1.000 → allgemein 1E-0X = 10^{-X} = $1/10^{X}$

8073 Rev.: 002

K-Faktor

Zur Betrachtung von Rotorblatttrümmer hat sich der Faktor **k = 3** bewährt. Der Faktor k berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt einen, im Vergleich zur Trefferfläche, größeren Schaden verursachen kann.

4.2.2.3 Ereignishäufigkeiten – Turmversagen

Häufigkeit von Turmversagen pro Jahr

Zur Abschätzung der Häufigkeit von Gefährdungen pro Jahr (siehe Gleichung 4-1 und Gleichung 4-2), gilt es die Häufigkeit für das Ereignis Turmversagen abzuschätzen. Der Gefährdungsbereich bei Turm- oder Fundamentversagen ergibt sich in Abhängigkeit von der Bruchstelle und der Lage des Schutzobjektes.

Nach Auswertung von Schadensereignissen in Deutschland von SenterNovem (Handboek Risicozonering Windturbines, Niederlande 2005 [23]) wird die Häufigkeit für das Ereignis Turmversagen zu **f = 1,0E-04** pro WEA und Jahr geschätzt.

K-Faktor

Zur Betrachtung von Turmtrümmer hat sich der Faktor **k = 10** bewährt. Der Faktor k berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt einen, im Vergleich zur Trefferfläche, größeren Schaden verursachen kann.

4.2.3 Risikobewertung & -behandlung

Im Rahmen der Risikobewertung wird auf Basis der Risikoanalyse beurteilt, ob die Ziele zur Risikominderung erreicht wurden [12]. Gemäß DIN EN 50126 für Bahnanwendungen [13] gibt es unterschiedliche Methoden und Wege, um ein akzeptables Risikoniveau für relevante Gefährdungen abzuleiten und zu formulieren. Im Folgenden werden verschiedene Ansätze vorgestellt.

Da es in Deutschland kein einheitliches Risikoakzeptanzkriterium gibt, werden für die vorliegende Fragestellung verschiedene Quellen zur Ermittlung eines Risikogrenzwertes herangezogen:

- Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) [13].
- Vergleich zu technischen Anforderungen an die Schutzfunktionen von WEA [14].
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) [24].
- Statistiken der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) [25].
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes [26].

Prinzip der „Kleinsten endogenen Mortalität“ – „MEM Prinzip“

MEM ist eine Methode zur Ableitung von absoluten Werten für die Risikoakzeptanz, basierend auf der natürlichen Todesrate von Menschen bestimmter jüngerer Altersgruppen. In wirtschaftlich gut entwickelten Ländern ist die endogene Mortalität am niedrigsten - die in [13] getätigten Angaben decken sich mit aktuellen Erhebungen des GBE [24]. In [13] wird hergeleitet, dass ein einzelnes technisches System nicht zu einem Todesrisiko (R) einer einzelnen Person führen darf, mit einer Rate von: R ≤ 1E-05 Todesfälle / (Person x Jahr) – dies entspricht 1 Todesfall in 100.000 Jahren.

Technische Anforderungen an die Schutzfunktionen von WEA

In [14] führt der DNV GL mit Verweis auf die ISO 13849 eine Liste von Schutzfunktionen an. Für die Schutzfunktion „Schutz vor Drehzahlüberschreitung“ leitet der DNV GL in [14] einen Performance Level PL d ab (PL ~ Fähigkeit eine Sicherheitsfunktion auszuführen). Im Folgenden betrachten wir die Schutzfunktion „Schutz vor Drehzahlüberschreitung“ als abdeckend zur Bewertung von Gefährdungen durch emittierte Objekte (Rotortrümmer und Turmtrümmer in Folge Versagen der Drehzahlüberwachung, Eisobjekte in Folge Eisabwurf oder Eisabfall). Gemäß DIN EN ISO 13849-1 gilt für einen PL d die folgende Anforderung an die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls je Stunde PFHD: 1E-07/h ≤ PFHD < 1E-06/h. Bezogen auf ein Jahr Betrieb einer WEA lässt sich ein Grenzwert für ein technisches Risiko in der Größenordnung 5E-04 / (Ereignis x Jahr) konservativ ableiten – dies entspricht 1 Todesfall in 2.000 Jahren.

Verkehrsunfälle

Zur Bewertung einer Gefährdung, welche von einer Windenergieanlage auf einen Verkehrsteilnehmer wirkt, lässt sich allgemein das vorliegende Risiko betrachten, welchem ein Teilnehmer des Straßenverkehrs in Deutschland unterliegt. Diesbezüglich werden Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes herangezogen [26]. Zeigt es sich, dass sich das Risiko im

8073 Rev.: 002

Straßenverkehr zu verunfallen, infolge der errichteten WEA, für die Teilnehmer signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 5% zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM), beschrieben in [13]).

Arbeitsunfälle

Zur Bewertung einer Gefährdung, welche von einer Windenergieanlage auf Arbeitskräfte wirkt, lässt sich allgemein das vorliegende Risiko betrachten, welchem ein Vollarbeiter in Deutschland unterliegt. Diesbezüglich werden DGUV Unfallstatistiken herangezogen [25]. Zeigt es sich, dass sich das Risiko während der Arbeit zu verunfallen, infolge der errichteten WEA, für die Mitarbeiter signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 5% zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM), beschrieben in [13]).

4.3 Prüfpunkte zur Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall

Zur Risikobeurteilung im Sinne der DIBt [2] sowie des BImSchG §5 Abs. 1 Nr. 1 [1] „Vermeidung sonstiger Gefahren – Eisabwurf und Eisabfall“ lassen sich die folgenden Prüfpunkte ableiten

Prüfpunkt 1 – Abstandsradius nach DIBt
Es wird geprüft, ob sich Schutzobjekte innerhalb eines Abstandsradius von 1,5 x (Rotordurchmesser plus Nabenhöhe) befinden (nach DIBt [2]).

Prüfpunkt 2 – Eiserkennung oder -vermeidung
Es wird geprüft, inwieweit die WEA über Einrichtungen verfügen, durch die der Betrieb bei Eisansatz sicher ausgeschlossen werden kann oder durch die ein Eisansatz verhindert werden kann - z.B. Rotorblattheizung (nach DIBt [3]).

Prüfpunkt 3 – Gefährdung durch Eisabfall
Es wird geprüft, in welchem Maße Personen in der Nähe der WEA durch Eisabfall betroffen sind.

Die Risikoeinschätzung und -bewertung kann hierbei qualitativ anhand ermittelter Abstandsradien und/oder quantitativ über ermittelte Trefferwahrscheinlichkeiten pro m^2 (Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation [15], [16]) erfolgen. Die Ergebnisse sind von den gegebenen Randbedingungen (Lage und Abstände zu den Schutzobjekten, Windbedingungen, Topographie, Vereisungsbedingungen, Expositionszeiten) abhängig.

Zur Risikobewertung wird geprüft, inwieweit eine hinreichende Risikominderung gegeben ist. Anhand des Ergebnisses werden bei Bedarf Schutzmaßnahmen zur Risikominderung empfohlen, um die Lücke zur hinreichenden Risikominderung zu schließen (falls erforderlich).

4.4 Prüfpunkte zur Bewertung der Gefährdung durch Rotorblattbruch

Prüfpunkt – Gefährdung durch Rotorblattbruch
Es wird geprüft, in welchem Maße Personen in der Nähe der WEA durch Rotorblattbruch betroffen sind.

Die Risikoeinschätzung und -bewertung erfolgt hierbei quantitativ über ermittelte Trefferwahrscheinlichkeiten pro m^2 (Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation [15], [16]). Die Ergebnisse sind von den gegebenen Randbedingungen (Lage und Abstände zu den Schutzobjekten, Windbedingungen, Topographie, Expositionszeiten) abhängig.

4.5 Prüfpunkte zur Bewertung der Gefährdung durch Turmversagen

Prüfpunkt – Gefährdung durch Turmversagen
Es wird geprüft, in welchem Maße Personen in der Nähe der WEA durch Turmversagen betroffen sind.

Die Risikoeinschätzung und -bewertung erfolgt hierbei quantitativ über ermittelte Expositionswinkel [°] und dem kürzesten Abstand [m] zur WEA. Die Ergebnisse sind von den gegebenen Randbedingungen (Lage und Abstände zu den Schutzobjekten, Expositionszeiten) abhängig.

8073 Rev.: 002

5 Risikobeurteilung

Für den Projektstandort „Windpark Perl Erweiterung WEA01“ erfolgen die Risikoanalyse und Risikobewertung anhand der in den Abschnitten 4.3, 4.4 und 4.5 aufgeführten Prüfpunkte.

5.1 Eisabwurf & Eisabfall

5.1.1 Prüfpunkt 1 – Abstandsradius nach DIBt

In Abbildung 3 ist der WEA Standort mit eingetragenem DIBt Abstandsradius von **1,5 x (150,0 m D + 166,0 m NH) = 474,0 m** dargestellt.

Abbildung 3: Standortplan mit Abstandsradien nach DIBt [2].

Es ist zu erkennen, dass sich die zu betrachtenden Schutzobjekte innerhalb des Abstandsradius nach DIBt befinden (siehe Abbildung 3). Hieraus folgt, dass die WEA über Systeme zur Vermeidung von Eisabwurf oder Verhinderung von Eisansatz verfügen muss.

5.1.2 Prüfpunkt 2 – Eiserkennung oder – vermeidung

Im Rahmen dieses Kapitels wird geprüft, inwieweit die WEA über eine Einrichtung verfügt, durch die der Betrieb bei Eisansatz sicher ausgeschlossen werden kann oder durch die ein Eisansatz verhindert werden kann - z.B. Rotorblattheizung (nach DIBt [3]).

Die WEA des Typs Vestas V150 5.6 MW, NH 166 m verfügt über ein BLADEcontrol® Eiserkennungssystem (BID) [5]. Seitens DNV GL liegt ein positives Prüfergebnis (BLADEcontrol integriert in Vestas WEA) zum Abschalten bei Eisansatz und Wiederanfahren bei eisfreiem Zustand vor (Stand Juni 2019 [6]).

5.1.3 Prüfpunkt 3 – Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall

Im Rahmen dieses Kapitels wird geprüft, in welchem Maße Personen in der Nähe der WEA durch Eisabfall betroffen sind. Grundlage ist die in Kapitel 4.2 beschriebene Risikobeurteilung, mit welcher das Risiko durch Eisabfall eingeschätzt und bewertet wird. Hierzu werden Gefahrenbereiche ermittelt und dargestellt, indem Trefferwahrscheinlichkeiten pro m^2 rund um die WEA mittels Monte-Carlo-Simulation [15], [16] ermittelt werden. Die gegebene Topographie (etwaige Höhenunterschiede zwischen WEA und Schutzobjekt) wurden im Rahmen der Analyse auf Grundlage eines Digitalen Gelände Modells (DGM) berücksichtigt.

Hinsichtlich einer Gefährdung durch Eisabfall von den WEA ergeben sich die in Abbildung 4 dargestellten Trefferwahrscheinlichkeiten pro m^2 rund um die WEA.

8073 Rev.: 002

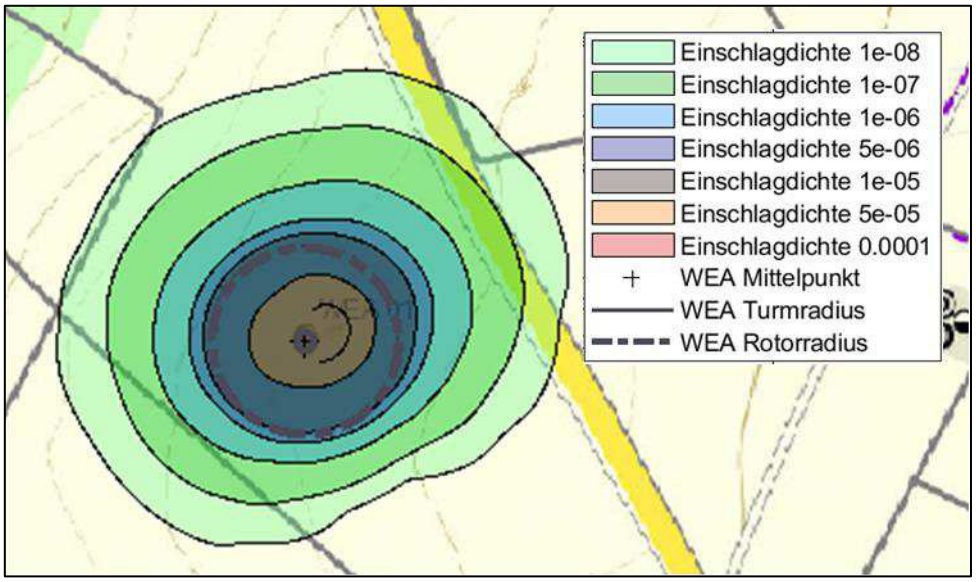


Abbildung 4: Eisabwurf & Eisabfall – Standortplan mit Trefferwahrscheinlichkeiten pro m².

In Tabelle 5 sind die ermittelten Individual- und Gruppenrisiken zur Beurteilung der Gefährdung durch Eisabwurf & Eisabfall für die jeweiligen zu betrachtenden Schutzobjekte zusammengefasst. Die Grenzwerte für Individual- und Gruppenrisiko wurden gemäß Kapitel 4.2.3 festgelegt. Die rot markierten Werte liegen über dem Grenzwert (Überschreitung) und die grün markierten unter dem Grenzwert. Für die identifizierten Fälle mit Überschreitung des Risikogrenzwertes werden Schutzmaßnahmen zur Erlangung einer hinreichenden Risikominderung erforderlich. Die Schutzmaßnahmen sind in Form von Empfehlungen in Kapitel 5.1.4 aufgeführt.

Schutzobjekt		Individualrisiko			Gruppenrisiko		
		R_{ind}	Grenzwert	Überschreitung	R_{grp}	Grenzwert	Überschreitung
Bundesstraße B 406	Pkw	2,94E-07	1,00E-05	keine	3,63E-04	2,27E-04	geringe
Wirtschaftswege	Fußgänger	2,06E-07	1,00E-05	keine	---	---	---
	Fahrradfahrer	2,47E-07	1,00E-05	keine	---	---	---

Tabelle 5: Eisabwurf & Eisabfall – Risikobewertung

5.1.4 Schutzmaßnahmen – Eisabwurf & Eisabfall

Gemäß den in Tabelle 5 aufgeführten Ergebnissen zur Risikobewertung Eisabwurf & Eisabfall sind Schutzmaßnahmen zur Erlangung einer hinreichenden Risikominderung erforderlich – siehe die folgenden Empfehlungen:

Maßnahmen zur Risikominderung für die Schutzobjekte: Bundesstraße B 406

- [E 1] Der Wiederanlauf nach erkanntem Eisansatz muss nach einer validen Prüfung erfolgen (visuell oder via Zustandsüberwachung). Für das vorgesehene System BLADEcontrol® Eiserkennungssystem (BID) [5] liegt seitens DNV GL ein positives Prüfergebnis (BLADEcontrol integriert in Vestas WEA) zum Abschalten bei Eisansatz und Wiederanfahren bei eisfreiem Zustand vor (Stand Juni 2019 [6]).

- [E 2] Durch Warnschilder (an den exponierten Abschnitten im Abstand des Rotordurchmessers der WEA) ist auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Warnschilder sind so zu errichten, dass diese auch bei Vereisung und Schneefall gut sichtbar sind. Hinweis: Es besteht kein Bedarf diese Warnschilder aktiv auszulegen.

8073 Rev.: 002

5.2 Rotorblattbruch

5.2.1 Gefährdung durch Rotorblattbruch

Im Rahmen dieses Kapitels wird geprüft, in welchem Maße Personen in der Nähe der WEA durch Rotorblattbruch betroffen sind. Grundlage ist die in Kapitel 4.2 beschriebene Risikobeurteilung, mit welcher das Risiko durch Rotorblattbruch eingeschätzt und bewertet wird. Hierzu werden Gefahrenbereiche ermittelt und dargestellt, indem Trefferwahrscheinlichkeiten pro m² rund um die WEA mittels Monte-Carlo-Simulation [15], [16] ermittelt werden. Die gegebene Topographie (etwaige Höhenunterschiede zwischen WEA und Schutzobjekt) wurden im Rahmen der Analyse auf Grundlage eines Digitalen Gelände Modells (DGM) berücksichtigt.

Hinsichtlich einer Gefährdung durch Rotorblattbruch von den WEA ergeben sich die in Abbildung 5 dargestellten Trefferwahrscheinlichkeiten pro m² rund um die WEA.

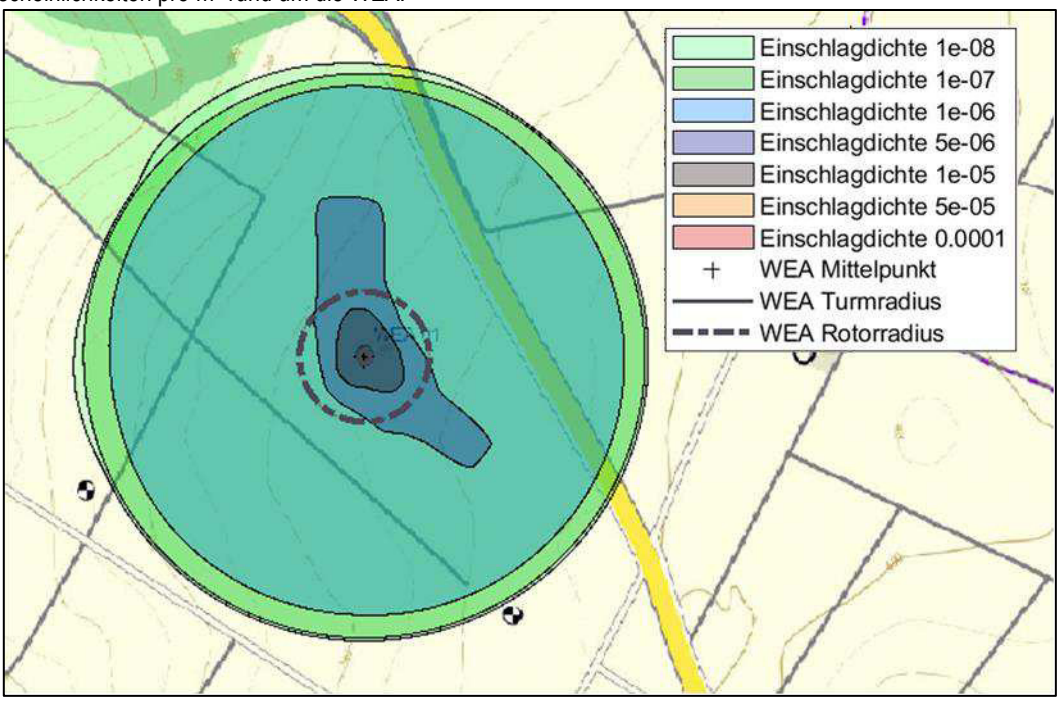


Abbildung 5: Rotorblattbruch – Standortplan mit Trefferwahrscheinlichkeiten pro m².

In Tabelle 6 sind die ermittelten Individual- und Gruppenrisiken zur Beurteilung der Gefährdung durch Rotorblattbruch für die jeweiligen zu betrachtenden Schutzobjekte zusammengefasst. Die Grenzwerte für das Individual- und Gruppenrisiko wurden gemäß Kapitel 4.2.3 festgelegt. Die grün markierten Werte liegen unter dem Grenzwert. Somit sind keine Schutzmaßnahmen zur Erlangung einer hinreichenden Risikominderung erforderlich.

Schutzobjekt		Individualrisiko			Gruppenrisiko		
		R_{ind}	Grenzwert	Überschreitung	R_{grp}	Grenzwert	Überschreitung
Bundesstraße B 406	Pkw	1,14E-11	1,00E-05	keine	1,17E-07	6,21E-04	keine
Wirtschaftswege	Fußgänger	6,53E-11	1,00E-05	keine	---	---	---
	Fahrradfahrer	3,92E-11	1,00E-05	keine	---	---	---

Tabelle 6: Rotorblattbruch – Risikobewertung

5.2.2 Schutzmaßnahmen – Rotorblattbruch

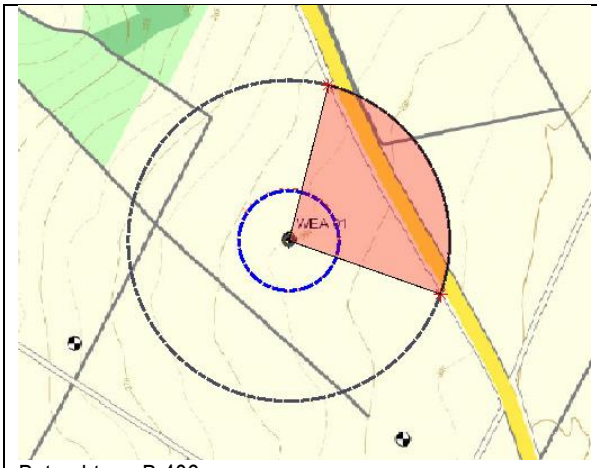
Gemäß den in Tabelle 6 aufgeführten Ergebnissen zur Risikobewertung Rotorblattbruch sind keine Schutzmaßnahmen zur Erlangung einer hinreichenden Risikominderung erforderlich.

8073 Rev.: 002

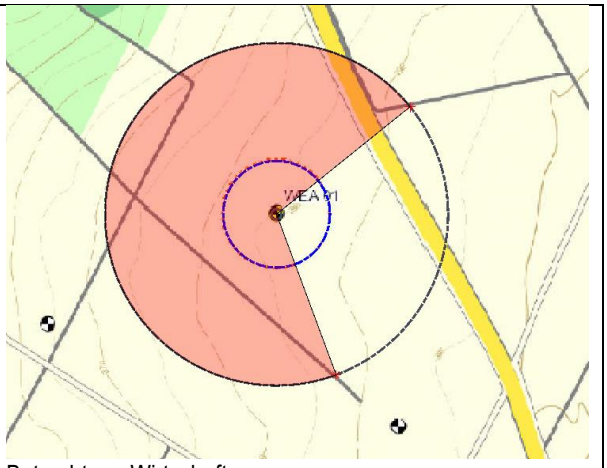
5.3 Turmversagen

5.3.1 Gefährdung durch Turmversagen

Im Rahmen dieses Kapitels wird geprüft, in welchem Maße Personen in der Nähe der WEA durch Turmversagen betroffen sind. Grundlage ist die in Kapitel 4.2 beschriebene Risikobeurteilung, mit welcher das Risiko durch Turmversagen eingeschätzt und bewertet wird. Hierzu werden Gefahrenbereiche ermittelt und dargestellt, indem Expositionswinkel [°] und kürzester Abstand [m] zur WEA ermittelt werden. Auf dieser Grundlage wird die Trefferwahrscheinlichkeit ermittelt und bewertet.



Betrachtung B 406
Expositionswinkel **95,2°**
Kürzester Abstand **156,7 m**



Betrachtung Wirtschaftswege
Expositionswinkel **251,5°**
Kürzester Abstand **112,6 m**

Abbildung 6: Turmversagen – ermittelte Gefährdungsbereiche je Schutzobjekt

In Tabelle 7 sind die Individual- und Gruppenrisiken zur Beurteilung der Gefährdung durch Turmversagen für die jeweiligen zu betrachtenden Schutzobjekte zusammengefasst. Die Grenzwerte für das Individual- und Gruppenrisiko wurden gemäß Kapitel 4.2.3 festgelegt. Die grün markierten Werte liegen unter dem Grenzwert. Somit sind keine Schutzmaßnahmen zur Erlangung einer hinreichenden Risikominderung erforderlich.

Schutzobjekt		Individualrisiko			Gruppenrisiko		
		R_{ind}	Grenzwert	Überschreitung	R_{grp}	Grenzwert	Überschreitung
Bundesstraße B 406	Pkw	1,39E-08	1,00E-05	keine	1,43E-04	2,21E-04	keine
Wirtschaftswege	Fußgänger	5,33E-06	1,00E-05	keine	---	---	---
	Fahrradfahrer	1,07E-06	1,00E-05	keine	---	---	---

Tabelle 7: Turmversagen – Risikobewertung

5.3.2 Schutzmaßnahmen – Turmversagen

Gemäß den in Tabelle 7 aufgeführten Ergebnissen zur Risikobewertung Turmversagen sind keine Schutzmaßnahmen zur Erlangung einer hinreichenden Risikominderung erforderlich.

8073 Rev.: 002

Hinweis:

Die Risikobeurteilung wurde ausschließlich für die beauftragte Gefährdung sowie für die beauftragten Schutzobjekte durchgeführt. Sämtliche Ergebnisse sind unter den für die untersuchten Standorte angegebenen Randbedingungen gültig. Ein Übertrag der Ergebnisse auf andere Windenergieanlagen oder auf andere Standorte oder Schutzobjekte ist nur mit Einschränkungen möglich. Bei Änderungen der WEA-Typen, der Standorte, der Schutzobjekte, der Windbedingungen oder bei abweichenden Umgebungsprofilen verlieren die ermittelten Ergebnisse ihre Gültigkeit.

Alle Untersuchungsobjekte sind hinsichtlich der genannten Randbedingungen vom Auftraggeber vorgegeben worden. Alle Untersuchungen und theoretische Analysen sind vom Sachverständigen persönlich überwacht oder durchgeführt worden.

Alle genutzten Hilfsmittel sind Eigentum der Silver Atena GmbH, Betrieb Hamburg. Sie entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Lehre und der Erfahrung aus der Praxis.

Dr. -Ing. Jan Hauschild; 17/09/2020
Sachverständiger Risikobeurteilung

© Silver Atena GmbH