

5.3 Eisabwurf/Eisabfall

- Gutachterliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Windenergieanlagen-Standort Quellendorf, TÜV NORD vom 12.01.2018

Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am Wind- energieanlagen-Standort Quellendorf

Erstellt im Auftrag für

VSB Neue Energien Deutschland GmbH
Dresden

Revision 1

Hamburg, 12.01.2018

Revision	Datum	Änderung
0	27.09.2016	Erste Ausgabe
1	12.01.2018	Änderung des WEA-Typs und des Standortes

Gegenstand: Risikobeurteilung am Windenergieanlagen-Standort
Quellendorf

Referenz-Nr.: 2017-RVRB-001-VSB-R0

Auftraggeber: VSB Neue Energien Deutschland GmbH
Schweizer Str. 3 a
01069 Dresden, Deutschland

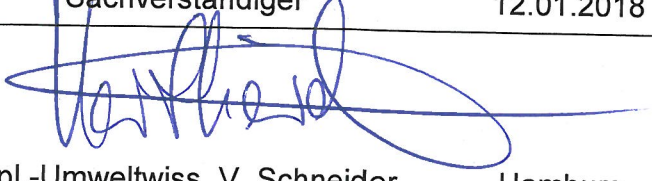
Anlagenhersteller: Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N, Dänemark

WEA-Typ:	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Vestas V150	4,2	150,0	166,0

Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:

- WEA-Spezifikationen: Nennleistung, Drehzahlbereich, Rotordurchmesser und Nabenhöhe /1/.
- Lageplan mit Darstellung der WEA und der Schutzobjekte /2/.
- Weibull-Parameter A und k sowie die Windverteilung auf Nabenhöhe /3/.
- Angaben und Nachweise zu dem Eiserkennungssystem der WEA /5/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und des Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /6/.

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	 B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger Hamburg, 12.01.2018
Geprüft durch	 Dipl.-Umweltwiss. V. Schneider Sachverständige Hamburg, 12.01.2018

Für weitere Auskünfte:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
B.Sc. F. Lautenschlager
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 1482
Fax: +49 40 8557 2552
E-Mail: flautenschlager@tuev-nord.de

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Angaben zur Windenergieanlage und der Standortumgebung	8
3	Bewertungsmaßstab	9
3.1	<i>Individualrisiko.....</i>	9
3.2	<i>Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko).....</i>	10
4	Risikoanalyse.....	12
4.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall.....</i>	12
4.1.1	Vereisungspotential.....	12
4.1.2	Automatische Eisabschaltung	14
4.1.3	Randbedingungen.....	15
4.1.4	Gefährdungsradius.....	16
4.2	<i>Detailanalyse Gefährdung der Bundesstraße B185 und des Rosefelder Weges</i>	18
4.2.1	Randbedingungen.....	18
4.2.2	Trefferhäufigkeiten	19
4.2.3	Individualrisiko.....	22
4.2.4	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko).....	23
5	Modell- und Datenunsicherheiten	24
6	Zusammenfassung und Risikobewertung	24
7	Rechtsbelehrung	28
8	Formelzeichen und Abkürzungen	29
9	Literatur- und Quellenangaben.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/.....	8
Abbildung 2:	Fallweiten bei 23,7m/s Windgeschwindigkeit.....	17
Abbildung 3:	Gefährdungsradius – rot gestrichelt ($v = 23,7\text{m/s}$).....	18
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.....	20
Abbildung 5:	Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.....	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.....	14
Tabelle 2:	Idealisierte Eisobjekte.....	16
Tabelle 3:	Ermittelte Fallweiten.....	16
Tabelle 4:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.....	21
Tabelle 5:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.....	23
Tabelle 6:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall.....	24
Tabelle 7:	Bundesstraße B185, Individualrisiko durch Eisabfall.....	26
Tabelle 8:	Bundesstraße B185, Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) durch Eisabfall.....	26

1 Aufgabenstellung

Am Standort Quellendorf plant der Auftraggeber die VSB Neue Energien Deutschland GmbH die Errichtung von einer WEA des Typs Vestas V150 mit 166,0m Nabenhöhe (NH) und 150,0m Rotordurchmesser (D). Nordöstlich der geplanten WEA verläuft die Bundesstraße B185 und südlich der WEA verläuft der Rosefelder Weg.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /28/ §5 Abs. 1 Nr. 1 sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Eisobjekte sind im Sinne des BImSchG als „sonstige Gefahr“ zu betrachten (siehe auch /29/), der Einfluss auf das Schutzniveau der Umwelt ist für den jeweiligen Standort zu bewerten (standortbezogene Risikobeurteilung).

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit nicht durch die geplante WEA beeinträchtigt wird. In der durch das Bundesland Sachsen-Anhalt eingeführten Liste der Technischen Baubestimmungen /26/, werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /26/ gelten Abstände größer als $1,5 \times (D + NH)$ im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen gemäß DIN 1055-5 /24/ als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit Schreiben vom 01.08.2016 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Mit der nun vorliegenden Revision 1 wurden der WEA-Typ und der WEA-Standort angepasst und im Rahmen der Risikobeurteilung neu bewertet. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

1. Darstellung des geplanten Projekts mit Angaben zu den Eigenschaften der geplanten WEA und dem Standort.
2. Qualitative Prüfung des Konzepts der Eiserkennung der WEA des Typs Vestas V150.
3. Ermittlung von Kenngrößen zur Risikobewertung.
4. Ermittlung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte von WEA des Typs Vestas V150 am Windenergieanlagen-Standort Quellendorf.

Die Berechnungen erfolgen ausschließlich für abgeschaltete WEA. Es erfolgen Berechnungen des Gefährdungsbereichs durch herabfallende Eisobjekte sowie Berechnungen flächenbezogener Trefferhäufigkeiten. Die standortspezifische Berechnung der Trefferhäufigkeit von herabfallenden Eisobjekten erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter: Position und

Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblatts, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden etwa 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert. Die Ergebnisse werden numerisch und grafisch dargestellt. Den Berechnungen liegen die Anlagenparameter der geplanten WEA (Nabenhöhe und Rotorradius) sowie die standortspezifischen Windverhältnisse zugrunde. Die Eintrittshäufigkeit für herabfallende Eisobjekte wird aus generischen Daten abgeleitet.

5. Die Risikobewertung (mögliche Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Bundesstraße B185) erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Arbeitsschritte 1 bis 4 sowie auf Basis standortspezifischer Angaben. In Abhängigkeit der Ergebnisse der Risikobewertung werden Maßnahmen zur notwendigen Risikominderung genannt.

Eine weitere Analyse des möglichen Schadensverlaufs durch Eisabwurf/Eisabfall (z.B. Gebäudeschäden, Fahrzeugschäden, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe, Schadensbeurteilung, Untersuchung weiterer Schutzobjekte) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme. Die Risikobeurteilung erfolgt auf Grundlage der eingereichten Unterlagen. Es wurde ausschließlich die Gefährdung der umliegenden Verkehrswege durch Eisabwurf/Eisabfall beurteilt, mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme.

2 Angaben zur Windenergieanlage und der Standortumgebung

Die Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V150 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

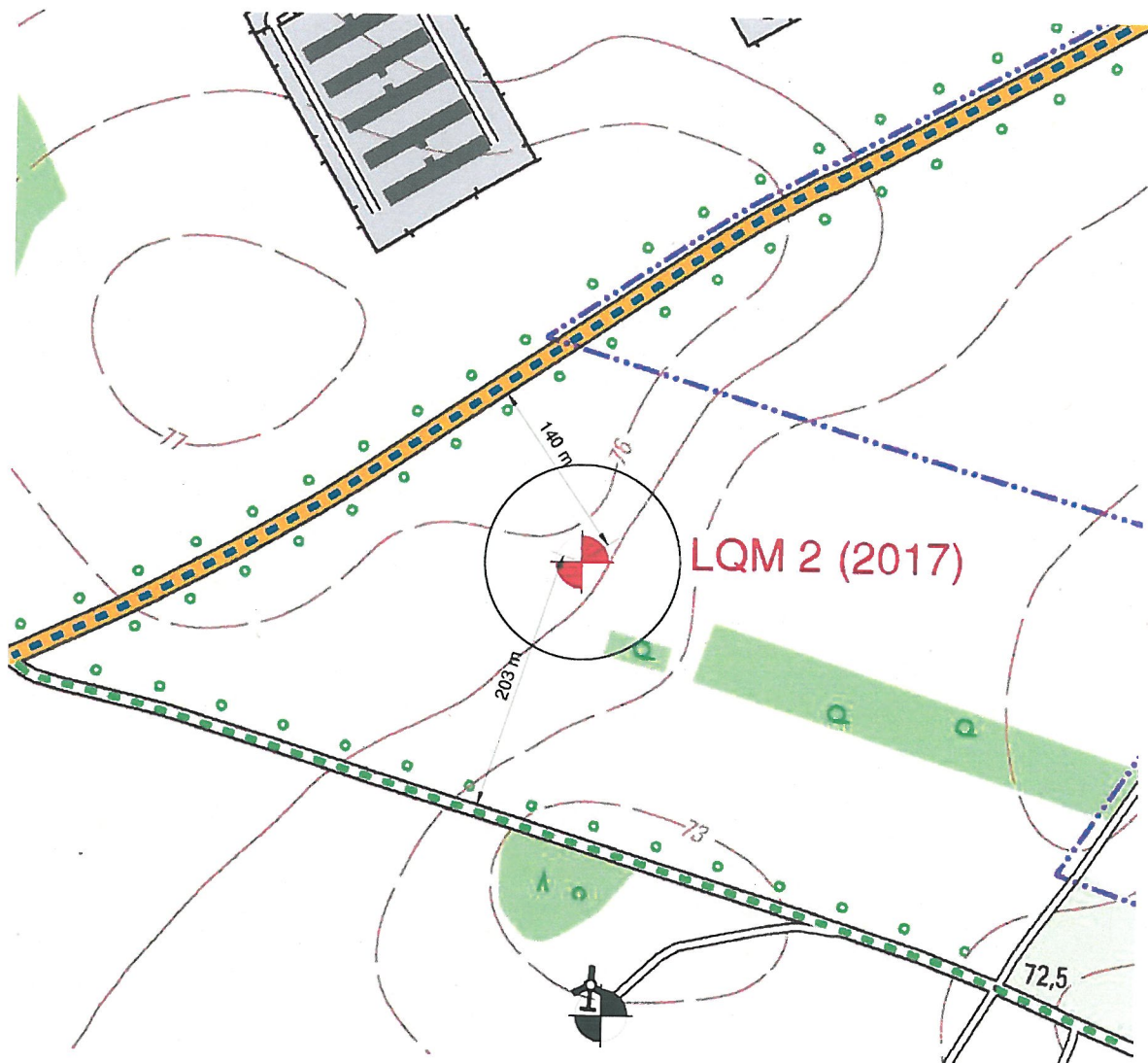


Abbildung 1: Lageplan /2/.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /2/ und der Beschreibung des Standortes /6/ entnommen

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Quellendorf ist durch landwirtschaftlich genutzte Flächen geprägt. Nordwestlich der WEA verläuft die Bundesstraße B185 (siehe Abbildung 1 blau gestrichelte Linie). Südlich der geplanten WEA verläuft der landwirtschaftlich und öffentlich genutzte Rosefelder Weg (siehe Abbildung

1 grün gestrichelte Linie). Der minimale Abstand der WEA zum Rosefelder Weg beträgt ca. 203m /2/. Der minimale Abstand der WEA zur B185 beträgt ca. 140m /2/. In der näheren Umgebung der WEA verlaufen einige landwirtschaftlich genutzt Wirtschaftswege /5/.

3 Bewertungsmaßstab

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) /30/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /31/.
- Statistiken der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) /32/.
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes /33/.
- Risk Criteria in EU /34/.
- Deutsche Störfall-Kommission - Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung /35/.
- Auswertung des VdTÜV /36/.

Zeigt es sich, dass sich das Risiko zu verunfallen, infolge der betrachteten Gefährdung durch die WEA, signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 10% zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /30/).

Im Rahmen der Beurteilung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern im öffentlichen Straßenverkehr werden die Gefährdung der einzelnen Verkehrsteilnehmer und die Gefährdung des Straßenverkehrs der betroffenen Verkehrsabschnitte berücksichtigt. Für die Bewertung einzelner Verkehrsteilnehmer werden im Folgenden Bewertungsmaßstäbe für das Individualrisiko herangezogen (siehe Kapitel 3.1). Zur Beurteilung der Gesamtsituation ist neben der Bewertung des Individualrisikos auch die Betrachtung der Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) nötig. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen /33/ beurteilt (siehe Kapitel 3.2).

3.1 Individualrisiko

MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /30/ beschreibt die gegebene Sterberate pro Person und Jahr unter Berücksichtigung verschiedener Ursachen aus den Bereichen Freizeit, Arbeit und Verkehr. In wirtschaftlich gut entwickelten Ländern ist die endogene Sterblichkeit für die Gruppe der 5- bis 15-jährigen am niedrigsten /30/. Die in /30/ getätigten Angaben decken sich mit aktuellen Erhebungen des GBE /31/. Auf Basis des MEM-Prinzips

lässt sich der Risikogrenzwert für das Individualrisiko zu $1,0E-05$ pro Person und Jahr ableiten.

Freizeitunfälle

Auf Basis der Unfallstatistiken der GBE /31/ und der Bedingung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), lässt sich der folgende Risikogrenzwert ableiten:

- Risiko eines tödlichen Freizeitunfalls: $6,0E-06$ je Person und Jahr.

VdTÜV

Vom VdTÜV wurden in einer Auswertung /36/ die folgenden Risikogrenzwerte angegeben:

- Niederlande: $1,0E-05/a$ für bestehende Anlagen, $1,0E-06/a$ für geplante Anlagen.
- Deutschland, Empfehlung des VdTÜV: Solange keine offiziellen Werte für Deutschland festgelegt werden, schlagen die Verfasser vor, für das Individualrisiko den Wert für Neuanlagen in den Niederlanden mit $1,0E-06/a$ zu verwenden.

Werden die aufgeführten Quellen zur Ermittlung eines Risikoakzeptanzkriteriums verglichen, so zeigt sich, dass die Risikoakzeptanzkriterien in guter Übereinstimmung zueinander in einem Bereich von $1,0E-06$ bis $1,0E-05$ liegen. Zusammenfassend lässt sich für das Individualrisiko (lebensbedrohlicher Unfall/Jahr) folgendes feststellen:

- Der untere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von $1,0E-06$ pro Person und Jahr.
- Der obere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von $1,0E-05$ pro Person und Jahr.

Ein ermitteltes Individualrisiko unterhalb von $1,0E-06$ ist als unkritisch zu bewerten. Liegt das ermittelte Individualrisiko in einem Bereich zwischen $1,0E-06$ und $1,0E-05$ ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip (As Low As Reasonable Practicable) /34/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko oberhalb von $1,0E-05$ wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

3.2 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch die geplante WEA wird das allgemein vorliegende Risiko im Straßenverkehr betrachtet. Diesbezüglich werden die aktuellen Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes herangezogen /33/. Zeigt es sich, dass sich das Unfallrisiko des zu beurteilenden Straßenab-

schnittes signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 10% zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der MEM, beschrieben in /30/).

Die Daten des Statistischen Bundesamtes zu den Verkehrsunfällen sind für unterschiedliche Situationen aufbereitet /33/. Im Jahr 2016 gab es je 1.000km Straßenlänge

- innerorts 4.213,
- außerorts ohne Autobahnen 451 und
- auf Autobahnen 1.631

Unfälle mit Personenschaden. Zusätzlich sind in /33/ die gesamte Anzahl der Unfälle mit Personenschäden, die Anzahl der Personenschäden, die Anzahl der getöteten, schwer- und leichtverletzten Verkehrsteilnehmer angegeben. Hieraus lässt sich für die jeweilige Verkehrssituation die Gefährdung im Straßenverkehr ableiten. Auf Basis der aktuellen Unfallstatistik aus dem Jahr 2016 ergibt sich die Unfallohaufigkeit von schweren Verkehrsunfällen mit Personenschaden auBerorts (ohne Autobahn) zu $1,0E-01$ pro km und Jahr. Dies entspricht einem schweren Verkehrsunfall mit tOdlichem Ausgang bzw. schwerverletzten Personen alle 10 Jahre.

Unter Berucksichtigung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), ergibt sich daraus die obere Grenze des zu berucksichtigenden Risikogrenzwertbereichs für die Gefährdung des Straßenverkehrs auBerorts (ohne Autobahn) zu $1,0E-02$ schwere Verkehrsunfälle mit Personenschaden je Kilometer und Jahr sowie zu $1,0E-05$ pro Meter und Jahr.

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /34/ leitet sich daraus der folgende Risikogrenzwertbereich für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs auBerorts (ohne Autobahn) ab:

- Untere Grenze: Der untere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von $1,0E-06$ pro Meter und Jahr.
- Obere Grenze: Der obere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von $1,0E-05$ pro Meter und Jahr.

Bezogen auf die am Standort Quellendorf zu betrachtenden Straßenabschnitte bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallohaufigkeit unterhalb von $1,0E-06$ pro Meter und Jahr als unkritisch zu bewerten ist. Liegt die ermittelte Unfallohaufigkeit in einem Bereich zwischen $1,0E-06$ pro Meter und Jahr und $1,0E-05$ pro Meter und Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /34/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Eine Unfallohaufigkeit oberhalb von $1,0E-05$ pro Meter und Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

4 Risikoanalyse

4.1 Eisabwurf und Eisabfall

Eisstücke oder Eiszapfen, die aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit herabgeschleudert werden oder herunterfallen, können für Personen oder Verkehrsteilnehmer im Trefferbereich eine ernste Gefahr darstellen. Durch Eisbildung an Gebäuden sind in Gebieten mit starker Eisbildung bereits Personen durch herabfallende Eisstücke zu Schaden gekommen.

Geschlossene Fahrzeuge bieten Schutz, könnten aber beschädigt werden. Bei Fahrzeugen in Bewegung könnten im Falle eines Treffers reflexartige Reaktionen des Fahrers zu Unfällen führen. Demgegenüber stellen herabfallende Eisplatten von LKW mit Planenaufbau für Verkehrsteilnehmer eine nicht zu vernachlässigende Gefahr dar. Unfälle durch herabfallende Eisplatten von LKW mit Personen- und Sachschäden werden im Winter regelmäßig gemeldet. Das Schadenspotential durch Eisabwurf oder Eisabfall von WEA ist vergleichbar mit dem von Eisplatten, welche sich von LKWs mit Planenaufbau lösen können.

Grundlegend muss bei der Bewertung von vereisten WEA zwischen den Gefährdungen durch Eisabwurf und Eisabfall unterschieden werden. Der Eisabwurf ist das Abwerfen eines Eisobjektes während des Betriebes der WEA, das Eisobjekt wird durch die drehende Rotorbewegung beschleunigt. Der Eisabfall ist das Abfallen eines Eisobjektes bei abgeschalteter WEA (Trudelbetrieb), hierbei wird das Eisobjekt im Fallen durch den Wind abgetrieben. Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern einer WEA ist zunächst zu prüfen, ob die WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügt. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Drehung des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden.

Für die standortbezogene Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall wird im Rahmen der Risikoanalyse (siehe Kapitel 4) das Eiserkennungssystem zur Verhinderung des Eisabwurfs dargestellt. Darauffolgend wird die Gefährdung durch Eisabfall ermittelt. Die Ergebnisse werden in der Risikobewertung (siehe Kapitel 6) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

4.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind ferner die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemeingültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich

jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /21/, /22/, /23/.

Aufgrund des Tragflächenprinzips von WEA-Rotorblättern sinkt der Luftdruck infolge der Beschleunigung der Luft an der Hinterseite der Rotorblätter (Bernoulli-Effekt). Durch den plötzlichen Druckabfall kommt es zu einer Verringerung der Lufttemperatur. Dieser Effekt kann die Vereisung der Rotorblätter bei bestimmten Wetterlagen verstärken. Während Eisablagerungen bei entsprechender Schichtstärke zu einer Gefährdung führen können, stellen Reif- und Schneeablagerungen für die Umgebung keine Gefahr dar. Eisabfall von Rotorblättern tritt nach jeder Vereisungswetterlage mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich dann nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie z.B. Brücken oder Strommasten.

Für den Standort Quellendorf ist gemäß den Eiskarten Europas /12/, /13/ und den Vereisungstagen des DWD /16/ im Mittel mit ca. 15 möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen. Dieser Wert deckt sich mit internen Untersuchungen des TÜV NORD zur Vereisungshäufigkeit /14/, /15/, welche auf Basis von Wetterstationen und Wetterbeobachtungen für ganz Deutschland durchgeführt wurden.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungsereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Im Rahmen des Schweizer Forschungsprojekts „Alpine Test Site Gütsch“ /18/, /19/, /20/ wurden unter anderem beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte einer WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0m statistisch erfasst. So wurden in vier Jahren mind. 250 Eisobjekte beobachtet /20/. Unter Berücksichtigung der in /19/ ausgewiesenen Häufigkeit der Vereisung für den Standort Gütsch mit 10 bis 30 Tagen pro Jahr, lässt sich somit die Anzahl von Eisfragmenten pro Vereisung zu

$$\frac{250 \text{ Eisobjekte}}{4 \text{ Jahre} \cdot 10 \text{ Vereisungen / Jahr}} \approx 7 \text{ Eisobjekte / Vereisung}$$

abschätzen. Da davon auszugehen ist, dass ein erheblicher Anteil der Eisobjekte nicht erfasst wurde, setzen wir für die Anzahl der Eisabwurf- bzw. Eisabfallereignisse, unter Berücksichtigung einer geschätzten Dunkelziffer von 100%, einen Wert von 14 Eisobjekten/Vereisung an.

Da die Studie „Alpine Test Site Gütsch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertragen. Eine sinnvolle Basis ist die gebildete Eismenge, welche proportional zu D^2 ist. In Tabelle 1 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D ² [m ²]	Verhältnis	Eisobjekte/Vereisung
ENERCON E-40	44,0	1.936	1	ca. 14
Vestas V150	150,0	22.500	11,6	ca. 163

Tabelle 1: Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.

4.1.2 Automatische Eisabschaltung

Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern der WEA ist zunächst zu prüfen, ob die geplante WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügt. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von der abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen.

Das Sicherheitskonzept der Vestas V150 zur Behandlung von Eisabwurf /4/ beinhaltet standardmäßig ein Leistungs- und Schwingungsüberwachungssystem. Zum einen erfolgt über das Betriebsführungssystem eine Auswertung der Messwerte im Produktionsbetrieb, d.h. es erfolgt ein Abgleich der tatsächlichen Leistung mit der zu erwarteten theoretischen Leistung. Zum anderen werden die durch Unwuchten entstehenden Schwingungen überwacht. Stimmen die Leistungskennwerte nicht mit den Erwartungswerten überein oder wird eine unzulässige Unwucht gemessen, schaltet die WEA automatisch ab. Zusätzlich kommt das blattbasierte Eiserkennungssystem BLADE-control für die Eiserkennung zum Einsatz /4/, /5/.

Die Erkennung des Eisansatzes beruht bei BLADEcontrol auf einer Überwachung der Eigenfrequenzen der Rotorblätter. Die Masse der Blätter nimmt bei Eisansatz zu und bewirkt eine Frequenzverschiebung, welche Eisansatz signalisiert /5/, /8/. Gemäß /8/ überschreitet die Empfindlichkeit das notwendige Maß, sodass eine Gefährdung der Umgebung durch Eisabwurf im laufenden Betrieb nicht erkennbar ist. Ein Eisansatz wird erkannt, bevor dieser eine kritische Masse erreicht /8/.

Dadurch, dass BLADEcontrol auch bei Stillstand der WEA das Eis direkt an den Rotorblättern detektiert, kann die WEA bei Eisansatz nicht nur automatisch abgeschaltet werden, es wird auch die Eisfreiheit der Rotorblätter zeitnah gemessen /9/, /5/. Die WEA kann dann automatisch wieder zugeschaltet werden /5/.

Das System wurde nach GL IV-4:2013 „Richtlinie für die Zertifizierung von Zustandsüberwachungssystemen für Windenergieanlagen“ zertifiziert /10/. Mit /8/ wurde für die Eiserkennung mittels BLADEcontrol bestätigt, dass das System dem Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /9/ wurde die Integration der Eiserkennung mittels BLADEcontrol in die Steuerung der Vestas WEA in Hinblick auf eine zuverlässige Eiserkennung geprüft. Die Prüfung /9/ hat ergeben, dass die WEA bei Eisansatz sicher abgeschaltet werden und die Integration der Eiserkennung in die WEA-Steuerung dem Stand der Technik entspricht /9/. Gemäß /9/ werden

die behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb als „sonstige Gefahr“ im Sinne des § 5 BImSchG erfüllt. Das vorgesehene System ist gemäß /8/, /9/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

4.1.3 Randbedingungen

Für die Berechnungen der Fallweiten werden die folgenden Rahmenbedingungen angenommen:

- WEA: Die WEA ist abgeschaltet (Trudelbetrieb). In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl im Trudelbetrieb ermittelt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,0 U/min) und als Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Lageparameter des Rotorblattes: Das Rotorblatt steht senkrecht über dem Turm, sodass die Blattspitze ihre maximale Höhe erreicht.
- Lageparameter des Eisobjekts: Das Eisobjekt befindet sich an der Rotorblattspitze.
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe.
- Windrichtung: Der Wind kommt aus beliebiger Richtung und weht in horizontaler Richtung und orthogonal zur Rotorebene. Eine entsprechende Stellung der WEA ist durch die automatische Windnachführung gegeben.
- Windgeschwindigkeit: Für die Windgeschwindigkeit wird das maximale 99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung auf Nabenhöhe aus den zwölf Windrichtungssektoren ermittelt. Diese Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe ist hinreichend konservativ gewählt, da sie zu 99,9% nicht überschritten wird und zudem für den gesamten Fallweg angesetzt wird.
- Physikalische Parameter: Gravitationskonstante $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Luftdichte $\rho = 1,300 \text{ kg/m}^3$ (konservativ aufgerundet bei 0°C Lufttemperatur).

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. Die Daten werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

Über die anzusetzende Form und Größe der Eisobjekte gibt es nur wenig belastbare Angaben. Die zur Verfügung stehenden Angaben deuten darauf hin, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein sind (bis ca. 2kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen /11/, /12/, /18/. Zudem hat sich in Feldstudien /18/ gezeigt, dass das Gewicht der Eisobjekte für die Fallweite von geringer Relevanz ist. Die Flugeigenschaften werden im Wesentlichen von der Geometrie und dem c_w -Wert (Strömungswiderstandskoeffizient) beeinflusst.

Um den Einfluss von unterschiedlichen Eisobjekten zu berücksichtigen, setzen wir für die Berechnungen idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe an. Die Gewichte der Eisobjekte haben wir unter Berücksichtigung der Kenntnisse aus /18/

auf 1,0kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Form	mittlere Fläche [m²]	mittlerer c_w -Wert [-]
1	1,0	700	Würfel	0,013	1,11
2	1,0	700	Quader	0,015	1,14
3	1,0	700	Quader	0,019	1,17
4	1,0	700	Brett	0,026	1,23
5	1,0	700	Brett	0,035	1,31

Tabelle 2: Idealisierte Eisobjekte.

4.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplante WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 241m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 23,7m/s (maximales 99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /3/) auf Basis der in Tabelle 2 angegebenen Eisobjekte die maximale Fallweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 und die entsprechenden Fallkurven in Abbildung 2 dargestellt. Die konservativ gewählte maximale Windgeschwindigkeit ergibt sich aus der Windgeschwindigkeitsverteilung aus Hauptwindrichtung (westliche Richtung). Für Windrichtungen, bei welchen ein möglicher Eisabfall eine der Straßen treffen könnte, ergeben sich deutlich niedrigere 99,9%-Quantile der jeweiligen Windgeschwindigkeitsverteilung. Aus diesem Grund wird, aufbauend auf den ermittelten maximalen Gefährdungsradius durch Eisabfall, im Kapitel 4.2 eine Detailanalyse des Eisabfalls von der geplanten WEA durchgeführt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Brett [m]	5 Brett [m]
23,7	145,8	168,8	198,6	251,6	306,0

Tabelle 3: Ermittelte Fallweiten.

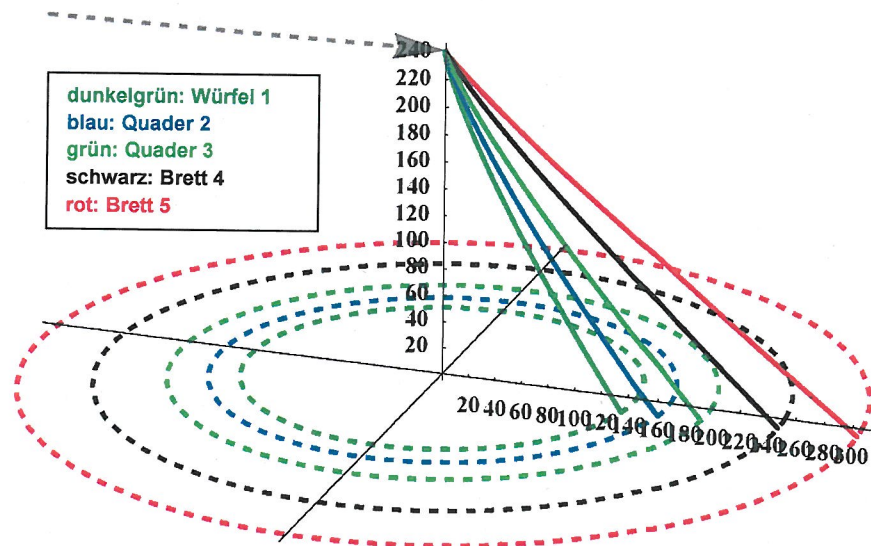


Abbildung 2: Fallweiten bei 23,7m/s Windgeschwindigkeit.

Die ermittelte maximale Fallweite ist der Spalte 7 der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Fallweite ist in der nachfolgenden Abbildung 3 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplante WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass keine Abschnitte der Bundesstraße B185 sowie des Rosefelder Weges durch den maximalen Gefährdungsradius der geplanten WEA überdeckt werden. Für die Untersuchung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Bundesstraße B185 sowie des Rosefelder Weges durch Eisabfall wird im Folgenden eine Detailanalyse und die Simulation des Eisabfalls durchgeführt (siehe Kapitel 4.2).



Die Berechnungen der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgen ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /37/, /38/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblatts, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden etwa 100.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V150 mit 166,0m NH und 150,0m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,0 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet (Weibull-Parameter A und k).
- Physikalische Parameter: Gravitationskonstante $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Luftdichte $\rho = 1,300 \text{ kg/m}^3$ (konservativ aufgerundet bei 0°C Lufttemperatur).
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe gemäß Kapitel 4.1.3.
- Lageparameter des Eisobjekts:
Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /17/ ist eine Eisbildung am Ende des Rotorblattes ca. dreimal häufiger zu beobachten als am Ansatz des Rotorblattes.
- Lageparameter der Rotorblätter:
Der Rotor kann sich im abgeschalteten Modus frei bewegen (Trudeln orthogonal zur Windrichtung möglich). Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationssebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall $(0, 2\pi)$ gleichverteilt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

4.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 4.1.1 ein Wert von 2.430 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (15 Vereisungstage pro Jahr mit je 162 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen der geplanten WEA dargestellt.

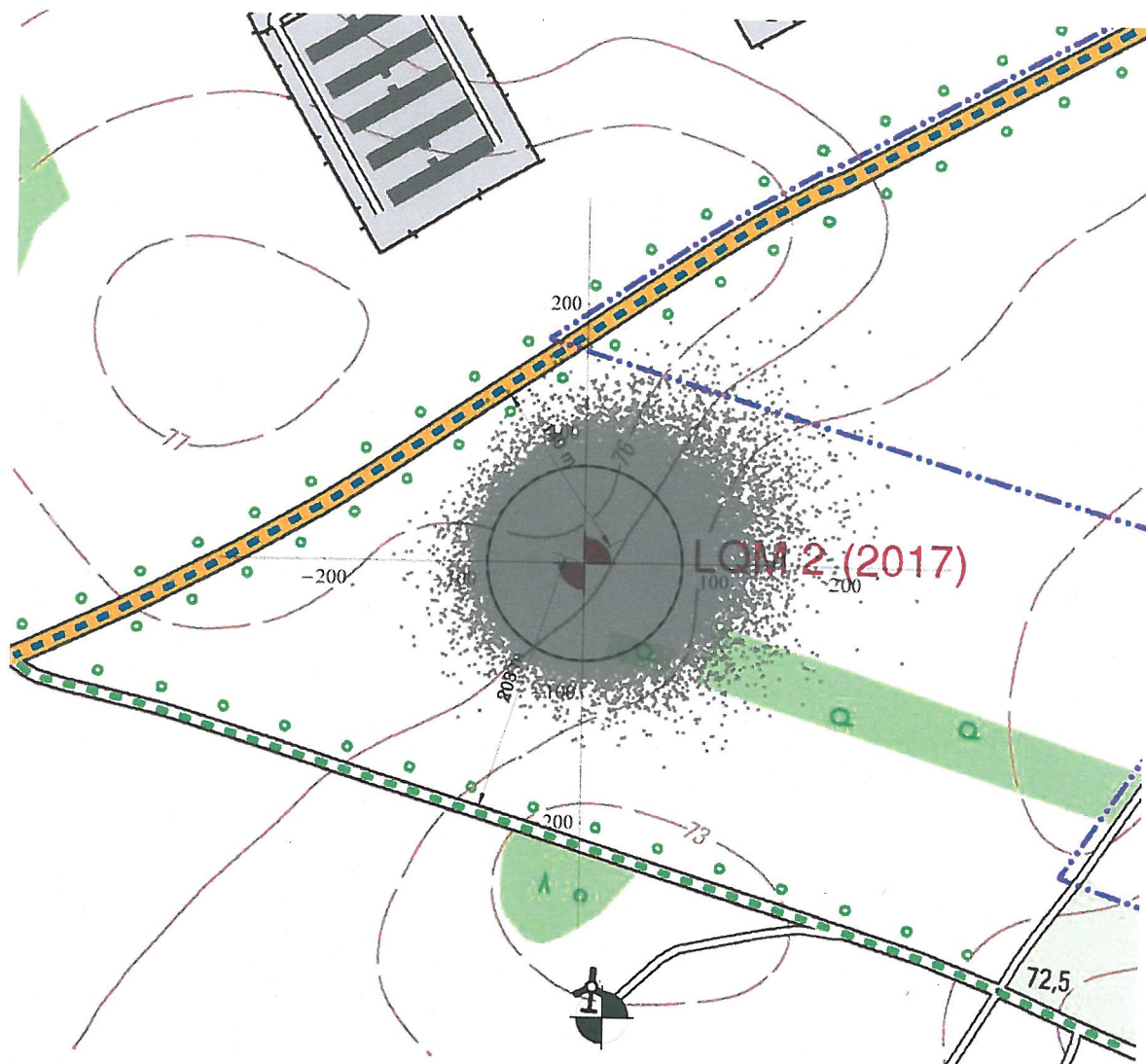


Abbildung 4: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 5 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro m² und Eisabfall-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsflächen dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsflächen sowie der möglichen Treffer durch Eisabfall pro Jahr sind in der Tabelle 4 beschrieben.

Tabelle 4: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4.



Die standortbezogene Simulation des Eisabfalls (Detailanalyse der Trefferbereiche) von der geplanten WEA (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5) zeigt, dass der Rosefelder Weg deutlich außerhalb des ermittelten Gefährdungsbereichs liegt und dass die Bundesstraße B185 durch den ermittelten Gefährdungsbereich gestreift wird. Für den Bereich außerhalb des vierten Gefährdungsbereichs gilt, dass die Trefferhäufigkeit pro m² kleiner als 1,0E-07 ist (siehe Tabelle 4). Mit zunehmendem Abstand nimmt die Trefferhäufigkeit immer weiter ab. Zusätzlich ist in den Abbildung 4 und Abbildung 5 der Einfluss der Windbedingungen auf die Ausdehnung der Trefferbereiche durch Eisabfall zu erkennen. Die Trefferbereiche dehnen sich deutlich nach Osten und Nordosten aus, was in der Hauptwindrichtung aus Südwesten begründet ist, sodass die Bundesstraße B185 und der Rosefelder Weg entlastet werden. Diese liegen im Bereich der Nebenwindrichtungen, aus welchen auf Basis der übermittelten standortspezifischen Windbedingungen /3/ mit deutlich schwächeren maximalen Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist.

4.2.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 5 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko im Straßenverkehr aufgrund Eisabfalls zu verunfallen für die Bundesstraße B185 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der B185 konservativ eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich erhöht wird.

Ein Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Eisobjektes mit der Zeit und dem Ort des zu betrachtenden Fahrzeugs übereinstimmen.

Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{VJ} \cdot h_{EV} \cdot h_{TEj} \cdot A_T \cdot P_{VA} \cdot P_{Aj},$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

- H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).
- H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.
- h_{VJ} : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 4.1.1).
- h_{EV} : Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 4.1.1).
- h_{TEj} : Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).
- A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird konservativ als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2m² angesetzt). Diese Annahme ist für die Ermittlung des Individualrisikos insofern konservativ, als dass davon ausgegangen werden kann, dass nicht jeder Treffer der Windschutzscheibe diese durchschlägt bzw. einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat.

P_{VA} : Wahrscheinlichkeit, an einem Vereisungstag anwesend zu sein, $P_{VA} = (225 \times 2)/365$ (Annahme: Berufspendler). Nutzung an 225 Tagen im Jahr pro Person, z.B. Berufspendler, welcher an 225 Tagen pro Jahr die Straße zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).

P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Verkehrsteilnehmers, Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 3), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich die in Tabelle 5 aufgeführte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Individualrisiko). Für die Risikobewertung wird konservativ angenommen, dass ein Treffer der Windschutzscheibe unabhängig von der Eisobjektgröße einen schweren oder tödlichen Unfall zur Folge hat.

Straße	Treffer eines Fahrzeugs
Bundesstraße B185	5,8E-08 Treffer/a

Tabelle 5: Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt, erfolgt bei einem Individualrisiko von 5,8E-08 Treffer/a im Mittel ca. alle 1,7E+07 Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

4.2.4 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs wird, aufbauend auf die Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 4.2.3), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Bundesstraße B185 berücksichtigt.

Daraus ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Vj} \cdot h_{EV} \cdot h_{TEj} \cdot h_{aVT} \cdot A_T \cdot P_{Aj}$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).

H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

h_{Vj} : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 4.1.1).

h_{EV} : Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 4.1.1).

h_{TEj} : Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

h_{aVT} : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Bundesstraße B185 werden auf Basis der manuellen Verkehrszählung der Bundesanstalt für Straßenwesen aus dem Jahre 2015 /7/ ca. 7.300 Fahrzeugen pro Tag angesetzt.

- A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen bedrohlichen Fahrzeugtreffer wird als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2m^2 angesetzt).
- P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der Fahrzeuge v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 5).

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich für die Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Bundesstraße B185 die in Tabelle 6 aufgeführte Trefferhäufigkeiten pro Jahr. Für die Bewertung wird konservativ angenommen, dass ein Treffer der Windschutzscheibe unabhängig von der Eisobjektgröße einen schweren oder tödlichen Unfall zur Folge hat.

Straße	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(a*m)]
Bundesstraße B185	1,8E-06

Tabelle 6: Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt, erfolgt bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von $1,8\text{E}-06$ Treffer/(a*m) im Mittel ca. alle 555.556 Jahre ein schwerer Unfall pro Meter Streckenabschnitt durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

5 Modell- und Datenunsicherheiten

Um den Aufwand der Analyse zu begrenzen, wurden vereinfachte Annahmen und Randbedingungen getroffen. Sämtliche Vereinfachungen sind dabei stets konservativ gewählt worden.

Generell können Modellrechnungen die Realität nur annähernd erfassen und sind daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung zu verwenden. Die ermittelten Ergebnisse gelten nur unter den genannten Randbedingungen. Es ist davon auszugehen, dass eine Abgrenzung der Gefährdungsbereiche im Ereignisfall in der Realität nicht so scharf ist, wie in den Ergebnissen dargestellt. Insofern sind die dargestellten Ergebnisse als ungefähre Darstellung zu verstehen und dienen der Orientierung.

6 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Quellendorf plant der Auftraggeber die VSB Neue Energien Deutschland GmbH die Errichtung von einer WEA des Typs Vestas V150 mit 166,0m NH und 150,0m D. Nordöstlich der geplanten WEA verläuft die Bundesstraße B185 und südlich der WEA verläuft der Rosefelder Weg.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung eines Verkehrsteilnehmers der Bundesstraße B185 sowie des Rosefelder Weges durch Eisabwurf/Eisabfall vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

Auf Basis der uns zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 4.1.2) von drehenden Rotorblättern kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachtete WEA nicht anzunehmen ist. Mit der Prüfung in /8/ und /9/ wurde für die Wirksamkeit des geplanten Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Eiserkennung wie in /8/ und /9/ in den geplanten WEA-Typ Vestas V150, integriert wird. Dies soll im Rahmen der Genehmigung und der Inbetriebnahme der geplanten WEA geprüft werden.

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass Teile der Bundesstraße B185 und des Rosefelder Weges sowie die umliegenden landwirtschaftlichen Flächen durch den maximal ermittelten Eisabfallbereich (siehe Kapitel 4.1.4) betroffen sein können.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege ist eine Gefährdung durch Eisabfall jedoch nicht anzunehmen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit weniger landwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten dennoch Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in überdachten Maschinen ausgeführt, welche einen Schutz gegen möglichen Eisabfall bieten. Die Fahrer landwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabfallende Eisobjekte geschützt. Sie haben über sich ein festes Dach und vor sich eine senkrechte Scheibe. Ein von oben herabstürzendes Eisobjekt könnte demnach auf das Dach fallen. Dem TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt das Metaldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Für die Bewertung der Gefährdung im Straßenverkehr sind zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) sowie das Kollektivrisiko (Gefährdung des Straßenverkehrs) zu betrachten. Hierzu wurde im Kapitel 4.2 eine Detailanalyse des Eisabfalls durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Rosefelder Weg deutlich außerhalb des ermittelten Gefährdungsbereichs liegt sowie dass die Bundesstraße B185 durch den ermittelten Gefährdungsbereich gestreift wird. Aufbauen auf die Ergebnisse der Detailanalyse wurde für die Bundesstraße B185 die Gefährdungen für den Straßenverkehr bestimmt (siehe Kapitel 4.2.3 und Kapitel 4.2.4). Daraus ergeben sich die in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellten Gefährdungen.

Straße	Treffer eines Fahrzeugs
Bundesstraße B185	5,8E-08 Treffer/a

Tabelle 7: Bundesstraße B185, Individualrisiko durch Eisabfall.

Straße	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(a*m)]
Bundesstraße B185	1,8E-06

Tabelle 8: Bundesstraße B185, Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) durch Eisabfall.

Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der untersuchten Bundesstraße B185 mit den in Kapitel 3 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigen sich die folgenden Ergebnisse:

- Das ermittelte Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer auf der Bundesstraße B185 liegt unterhalb der unteren Grenze des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 3.1).
- Die ermittelte Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) liegt knapp oberhalb der unteren Grenze des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 3.2).

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 4.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 4 empfehlen wir die folgenden Maßnahmen zur Risikoreduzierung:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems und die Einbindung in die Anlagensteuerung der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /27/, /25/ durch eine befähigte Person /39/ geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /27/, /25/ durch eine befähigte Person /39/ aufzuzeigen.
- Durch Hinweisschilder (mind. im Abstand der 1,3-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und dem Rosefelder Weg auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzern der Wirtschaftswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.
- Zusätzlich sollte die Möglichkeit einer Parkposition der geplanten WEA bei erkanntem Eisansatz geprüft und umgesetzt werden. Wurde durch das Eiserkennungssystem Eisansatz an der geplanten WEA erkannt, könnte der Rotor der geplanten WEA in eine Parkposition parallel zur Bundesstraße B185 gefahren und dort fixiert werden. Hierbei sollte der Rotor in eine Position gefahren werden mit welcher der größtmögliche Abstand zur Straße sichergestellt wird.

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass in der Realität nicht jeder Treffer zu einem lebensbedrohlichen Unfall führen wird (dies betrifft die Geschwindigkeit und das Gewicht der Eisobjekte, die Trefferfläche sowie die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zum Zeitpunkt des Treffers des Eisobjekts),
- dass sich die abgeschaltete, vereiste WEA prinzipiell nicht von anderen Bauwerken mit Eisansatz unterscheidet,
- dass davon auszugehen ist, dass der landwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen oder Fahrzeugen erfolgt (landwirtschaftlicher Verkehr ist im Winter außerhalb der Wirtschaftsperiode als eher gering anzusehen),
- dass Warnhinweise zur Warnung vor akuter Eisabfallgefahr an allen möglichen Zugängen zur WEA aufgestellt werden sollen und hierüber die Möglichkeit zur Gefahrenvermeidung gegeben ist,

ist das nach Umsetzung obiger Maßnahmen zur Eiserkennung bzw. Abschaltung bei Eisansatz und Risikominderung verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer auf der Bundesstraße B185 als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Liste der Technischen Baubestimmungen des Bundeslandes Sachsen-Anhalt /26/ eingeführten technischen Regeln Anlage 2.7/12: „Gefahr des Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von $1,5 \times$ (Rotordurchmesser + Nabenhöhe)“ sowie in Anlehnung an
- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /28/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine signifikante Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der B185 und dem Rosfelder Weg durch die Errichtung der geplanten WEA am Standort Quellendorf durch Eisabwurf/Eisabfall nach Umsetzung der genannten Maßnahmen zur Risikominderung nicht anzunehmen.

7 Rechtsbelehrung

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme ist nur in ihrer Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden übermittelten Dokumente.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der vom Auftraggeber übermittelten Informationen und Angaben und für durch unrichtige Angaben bedingte falsche Aussagen.

Die von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG erbrachten Leistungen (z.B. Gutachten-, Prüf- und Beratungsleistungen) dürfen nur im Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks verwendet werden. Vorbehaltlich abweichender Vereinbarungen im Einzelfall, räumt TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG dem Auftraggeber an seinen urheberrechtsfähigen Leistungen jeweils ein einfaches, nicht übertragbares sowie zeitlich und räumlich auf den Vertragszweck beschränktes Nutzungsrecht ein. Weitere Rechte werden ausdrücklich nicht eingeräumt, insbesondere ist der Auftraggeber nicht berechtigt, die Leistungen des Auftragnehmers zu bearbeiten, zu verändern oder nur auszugsweise zu nutzen.

Eine Veröffentlichung der Leistungen über den Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks hinaus, auch auszugsweise, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Eine Bezugnahme auf TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist nur bei Verwendung der Leistung in Gänze und unverändert zulässig.

Bei einem Verstoß gegen die vorstehenden Bedingungen ist TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG jederzeit berechtigt, dem Auftraggeber die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

8 Formelzeichen und Abkürzungen

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
a	Jahr	[a]
BlmSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
D	Rotordurchmesser	[m]
GBE	Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes	
GR	Gefährdungsradien	
h	Stunde	[h]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
Kfz	Kraftfahrzeug	
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimalen endogenen Sterblichkeit	
min	Minute	[min]
NH	Nabenhöhe	[m]
P _{Nenn}	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
WEA	Windenergieanlage(n)	

9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ VSB Neue Energien Deutschland GmbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Windpark-LQM-I_Auftrag-Eisabwurf-Eisabfall-Gutachten, Stand: 05.12.2017. Übermittelt durch VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit E-Mail vom 04.12.2017.
- /2/ VSB Neue Energien Deutschland GmbH. Lageplan: Windpark Quellendorf, Stand: 05.12.2017. Übermittelt durch VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit E-Mail vom 05.12.2017.
- /3/ VSB Neue Energien Deutschland GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten: Übermittelt durch VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit E-Mail vom 04.12.2017.
- /4/ Vestas Central Europe A/S. Angaben zum Eiserkennungssystem: Allgemeine Beschreibung Eissturz- und Eisabwurfisiko - sowie Risikominderung – V105/V112/V117/V126/V136/V150. Dokument Nr.: 0068-3752 V00, Stand: 21.06.2017. Übermittelt durch VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit E-Mail vom 13.12.2017.
- /5/ Vestas Central Europe A/S. Angaben zum Eiserkennungssystem: Allgemeine Spezifikation BLADEcontrol Ice Detector. Rotorblattvereisungsüberwachung. Dokument Nr.: 0027-7735.V05, Stand: 09.09.2016. Übermittelt durch VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit E-Mail vom 13.12.2017.
- /6/ VSB Neue Energien Deutschland GmbH. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch VSB Neue Energien Deutschland GmbH mit E-Mail vom 04.12.2017.
- /7/ Bundesanstalt für Straßenwesen (bast). Manuelle Straßenverkehrszählung 2015 - Ergebnisse auf Bundesstraßen -. Stand: 31.08.2017.
- /8/ DNV GL - Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, BLADEcontrol Ice Detector BID, Report-Nr.: 75138, Rev. 4, Stand 08.02.2017.
- /9/ DNV GL - Energy Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System – Integration des BLADEcontrol Ice Detector BID in die Steuerung von Vestas Windenergieanlagen, Report Nr.: 75172, Rev. 1 Stand: 13.06.2016.
- /10/ DNV GL - Energy Renewables Certification. Typenzertifikat: Eisdetektorsystem BLADEcontrol Ice Detector (BID). TC-GL-IV-4-02381-0. 2016.
- /11/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /12/ 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.
- /13/ Rosten, G. et al. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates. IEA Wind Task 19. Edition October 2012.

- /14/ Lautenschlager, F. Studie zum Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Ereignis Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Bachelorarbeit im Studiengang Umwelttechnik. Hamburg 2012.
- /15/ Storck, F. Influence of wind conditions under icing conditions on the result of a risk assessment. Winterwind international wind energy conference. Piteå 2015.
- /16/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /17/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /18/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /19/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /20/ 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.
- /21/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010.
- /22/ VTT Technical Research Centre of Finland. State-of-the-art of wind energy in cold climates. VTT WORKING PAPERS 152. ISBN 978-951-38-7493-3. 2010.
- /23/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /24/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten. Berlin. Juli 2005.
- /25/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /26/ Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr. Liste der Technischen Baubestimmungen. Fassung November 2014.
- /27/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /28/ BImSchG 2017. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 29.05.2017.
- /29/ Jarass, H. D. 2012. Bundes-Immissionsschutzgesetz: BImSchG, Kommentar unter Berücksichtigung der Bundes-Immissionsschutzverordnungen, der TA Luft sowie der TA Lärm. Verlag C.H. Beck, München, 2012.
- /30/ DIN EN 50126. Bahnanwendungen. Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). März 2000.

- /31/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /32/ DGUV. DGUV-Statistiken für die Praxis 2015. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). 2015.
- /33/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2017.
- /34/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /35/ Störfall-Kommission. 2004. Bericht, Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41.
- /36/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /37/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /38/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /39/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.