

**Gutachtliche Stellungnahme zur  
Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall am  
Windenergieanlagen-Standort Betriebsgelände  
(Manzke)**

Erstellt im Auftrag für

Manzke Besitz GmbH & Co. KG  
Vastorf OT Volkstorf

Revision 0

Hamburg, 15.11.2016

Revision	Datum	Änderung
0	20.09.2016	Erste Ausgabe
1	15.11.2016	Standortverschiebung und Anpassung der geplanten Maßnahmen zum Eisabfall/Eisabwurf

**Gegenstand:** Risikobeurteilung am Windenergieanlagen-Standort  
Betriebsgelände (Manzke)

**Referenz-Nr.:** 2015-WND-RB-537-R1

**Auftraggeber:** Manzke Besitz GmbH & Co. KG  
Gewerbegebiet 1  
21397 Vastorf OT Volkstorf

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich

<b>WEA-Typ:</b>	<b>P<sub>Nenn</sub> [MW]</b>	<b>D [m]</b>	<b>NH [m]</b>
ENERCON E-82 E2	2,3	82,0	85,0

**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 /4/.
- Angaben und Nachweise zu dem Eiserkennungssystem der WEA /5/, /6/.
- Angaben zur Vereisungshäufigkeit am Standort /7/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zur Anzahl und Aufenthaltsdauer exponierter gefährdeter Personen auf Freiflächen rund um die WEA /8/.

**Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:**

Verfasser	 B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger	Hamburg, 15.11.2016
Geprüft durch	 Dipl.-Ing. O. Raupach Sachverständiger	Hamburg, 15.11.2016

**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](mailto:flautenschlager@tuev-nord.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Aufgabenstellung .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Angaben zur Windenergieanlagen und der Standortumgebung .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Bewertungsmaßstab .....</b>	<b>10</b>
3.1 <i>Individualrisiko</i> .....	10
3.2 <i>Kollektivrisiko</i> .....	13
<b>4 Risikoanalyse.....</b>	<b>14</b>
4.1 <i>Eisabwurf und Eisabfall</i> .....	15
4.1.1 Vereisungspotential.....	15
4.1.2 Automatische Eisabschaltung .....	17
4.1.3 Randbedingungen.....	18
4.1.4 Trefferhäufigkeiten .....	20
<b>5 Modell- und Datenunsicherheiten .....</b>	<b>22</b>
<b>6 Zusammenfassung und Bewertung .....</b>	<b>23</b>
<b>7 Rechtsbelehrung .....</b>	<b>26</b>
<b>8 Formelzeichen und Abkürzungen .....</b>	<b>27</b>
<b>9 Literatur- und Quellenangaben.....</b>	<b>28</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan /2/.....	8
Abbildung 2: Übersichtskarte (Luftbild). Rotorradius schwarz gestrichelt.....	9
Abbildung 3: Quelle: DGUV /102/: Meldepflichtige Arbeitsunfälle/Schulunfälle.....	11
Abbildung 4: Quelle: DGUV /102/: Tödliche Unfälle.....	12
Abbildung 5: F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /104/.....	14
Abbildung 6: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	20
Abbildung 7: Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ] pro Eisabfall (Lageplan). Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	21
Abbildung 8: Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ] pro Eisabfall (Luftbild). Rotorblattradius schwarz gestrichelt. ....	22

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Koordinaten der geplanten WEA /1/.....	10
Tabelle 2:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung. ....	17
Tabelle 3:	Idealisierte Eisobjekte.....	19
Tabelle 4:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4. ....	21

## 1 Aufgabenstellung

Am Standort Betriebsgelände (Manzke) plant der Auftraggeber die Manzke Besitz GmbH & Co. KG die Errichtung von einer WEA des Typs ENERCON E-82 E2 mit 85,0m Nabenhöhe (NH) und 82,0m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA befinden sich die Betriebsbereiche der Manzke KSR GmbH.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BlmSchG) /30/ §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 Umwelt-einwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Eisobjekte sind im Sinne des BlmSchG als „sonstige Gefahr“ zu betrachten (siehe auch /31/), 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 Niedersachsen eingeführten Liste der Technischen Baubestimmungen /28/, werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /28/ gelten Abstände größer als  $1,5 \times (D + NH)$  im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen gemäß DIN 1055-5 /26/ 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 Manzke Besitz GmbH & Co. KG mit Schreiben vom 15.06.2016 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Mit der nun vorliegenden Revision 1 wurden die Standortverschiebung und der zusätzlich geplante windgeschwindigkeitsunabhängige Eissensor (Labkotec) berücksichtigt. Die mit der Revision 0 berücksichtigte Rotorblattheizung ist nicht mehr Bestandteil der Betrachtung /9/. Es wurde folgende Vorgehensweise vereinbart:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Personengefährdung auf dem Betriebsgelände der Manzke Besitz GmbH & Co. KG sowie von Verkehrsteilnehmern auf der westlich gelegenen öffentlichen Straße durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA. Die Stellungnahme beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

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 ENERCON E-82 E2.
3. Ermittlung von Kenngrößen zur Risikobewertung.
4. Ermittlung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte von WEA des Typs ENERCON E-82 E2 am Windenergieanlagen-Standort Betriebsgelände (Manzke).

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, Windschwindigkeit 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 (Personengefährdung auf dem Betriebsgelände der Manzke Besitz GmbH & Co. KG sowie von Verkehrsteilnehmern auf der westlich gelegenen öffentlichen Straße) 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) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme.

## 2 Angaben zur Windenergieanlagen und der Standortumgebung

Die Lage der geplanten WEA des Typs ENERCON E-82 E2 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen, zusätzlich sind der Tabelle 1 die Koordinaten zu entnehmen.

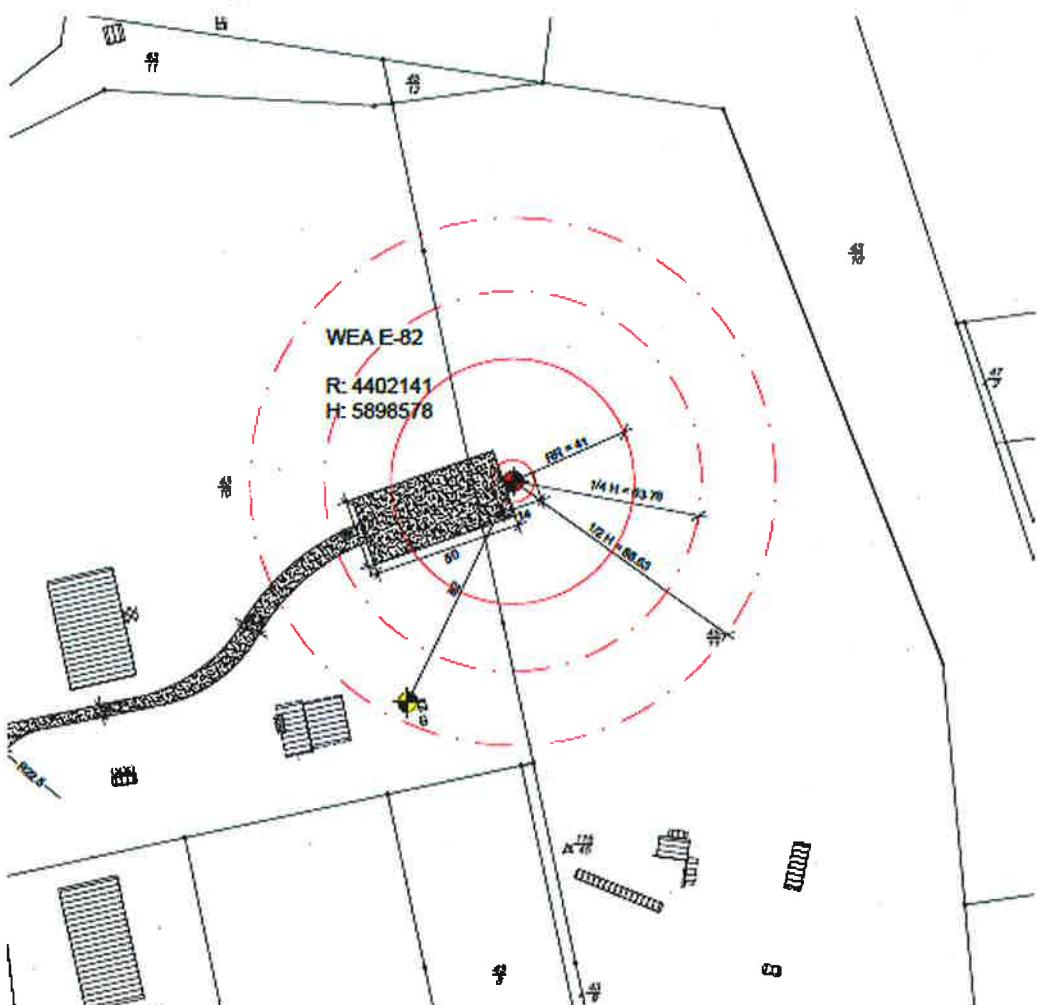


Abbildung 1: Lageplan /2/.



Abbildung 2: Übersichtskarte (Luftbild). Rotorradius schwarz gestrichelt

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /2/ entnommen. Im Rahmen einer Standortbesichtigung wurde der neugeplante WEA-Standort besichtigt. Zusätzlich wurde die geplante WEA zur Verdeutlichung in einem Luftbild (Satellitenbild Google-Earth) dargestellt (siehe Abbildung 2).

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Betriebsgelände (Manzke) ist durch gewerbliche Nutzung geprägt. Der Standort befindet sich direkt auf dem Betriebsgelände der Manzke Besitz GmbH & Co. KG. Unterhalb der geplanten WEA sowie im Osten befinden sich Flächen zur Lagerung, Behandlung und zum Umschlag diverser Schüttgüter, Sand und Naturgestein. Westlich befindet sich das Gebäude der Arkema GmbH. Südwestlich liegen die Betriebstankstelle sowie der LKW-Waschplatz, die beide überdacht sind. Direkt im Süden der geplanten WEA befindet sich die Bestands-WEA, welche bis auf Teile des Turms zurückgebaut werden soll /8/. Die Nutzung der betroffenen Schutzobjekte wird im Kapitel 4 detailliert dargestellt.

WEA	Koordinaten	
	UTM, WGS84, Zone 32	
	X	Y
ENERCON E-82 E2	602373	5896733

Tabelle 1: Koordinaten der geplanten WEA /1/.

### 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) /32/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /33/.
- Statistiken der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) /34/.
- Risk Criteria in EU /35/.
- Deutsche Störfall-Kommission - Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung /36/.
- Auswertung des VdTÜV /37/.

Zeigt es sich, dass sich das Risiko zu verunfallen, infolge der betrachteten Gefährdung ausgehend von der 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) /32/).

Für die Beurteilung von Personengefährdungen ist sowohl das Einzelpersonenrisiko (Individualrisiko) als auch das Gruppenrisiko (Kollektivrisiko) zu betrachten. Für die Bewertung ungeschützter Personen werden die im Folgenden dargestellten Bewertungsmaßstäbe herangezogen. Der Bewertungsmaßstab für das Individualrisiko ist im Kapitel 3.1 und für das Kollektivrisiko im Kapitel 3.2 hergeleitet.

#### 3.1 Individualrisiko

##### MEM-Prinzip

Das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit /32/ 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 15jährigen am niedrigsten

/32/. Die in /32/ getätigten Angaben decken sich mit aktuellen Erhebungen des GBE /33/. 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 /33/ 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.

### Arbeitsunfälle

Der Verlauf der meldepflichtigen Arbeitsunfälle je 1.000 Vollarbeiter zeigt auf, dass der Arbeitsunfall je Vollarbeiter gesunken ist (siehe Abbildung 3). Der Verlauf der tödlichen Arbeitsunfälle zeigt auf, dass die tödlichen Arbeitsunfälle bis zum Jahr 2009 gesunken sind und anschließend wieder leicht ansteigen (siehe Abbildung 4).

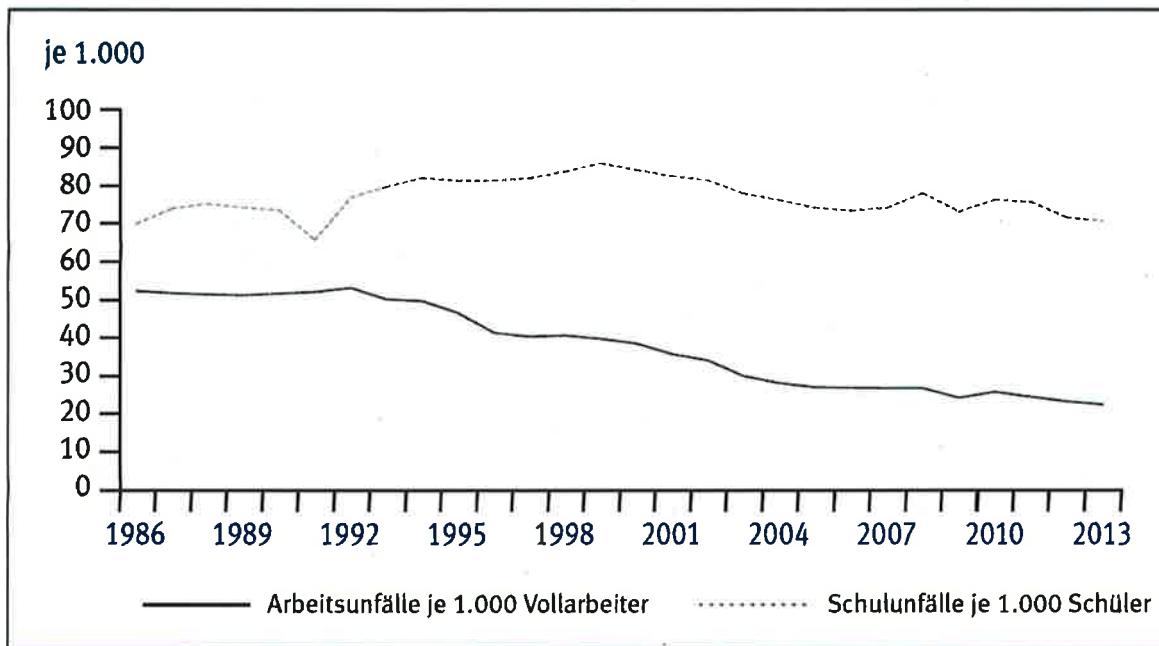


Abbildung 3: Quelle: DGUV /34/: Meldepflichtige Arbeitsunfälle/Schulunfälle.

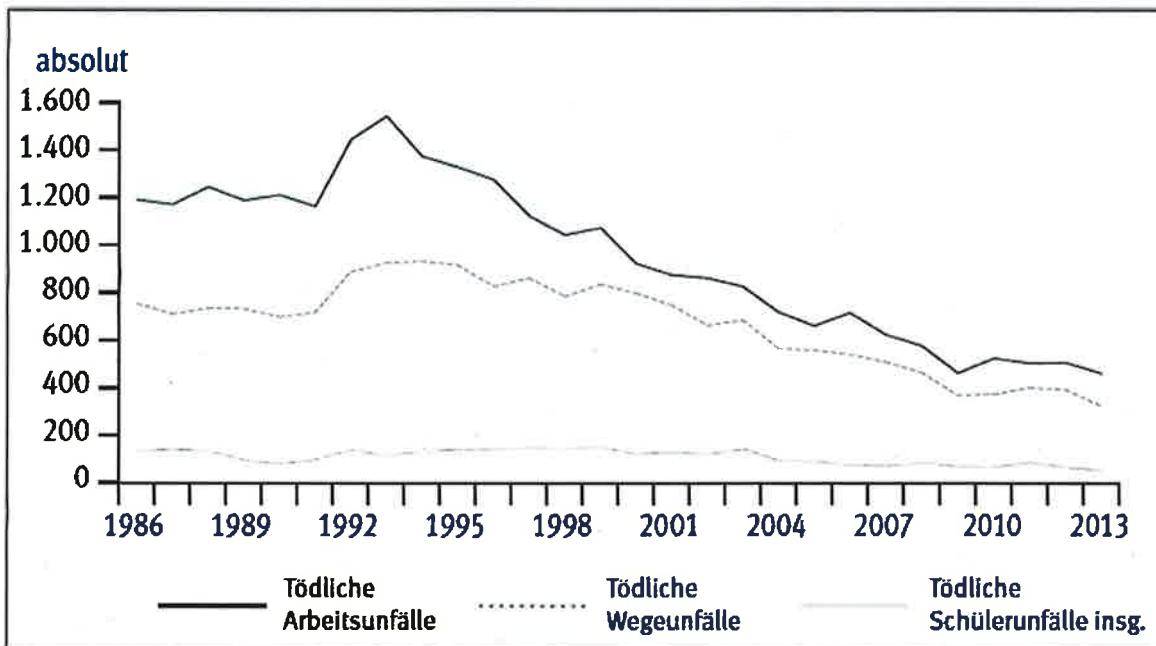


Abbildung 4: Quelle: DGUV /34/: Tödliche Unfälle.

Auf Basis der DGUV Unfallstatistiken lassen sich die folgenden Risiken ableiten:

- Risiko eines meldepflichtigen Arbeitsunfalls: 2,3E-02 pro Vollarbeiter und Jahr.
- Risiko eines tödlichen Arbeitsunfalls: 1,2E-05 pro Vollarbeiter und Jahr.

Für das Risiko eines meldepflichtigen Arbeitsunfalls wird als Minimum aus der Zeitreihe (siehe Abbildung 3) das Risiko aus dem Jahre 2013 zugrundegelegt. Für das Risiko eines tödlichen Arbeitsunfalls wird als Minimum der Zeitreihe (siehe Abbildung 4) das Risiko aus dem Jahre 2013 zugrundegelegt.

Auf Basis der DGUV Unfallstatistiken und der Bedingung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), lassen sich die folgenden Risikogrenzwerte ableiten:

- Risiko eines meldepflichtigen Arbeitsunfalls: 2,3E-03 je Vollarbeiter und Jahr.
- Risiko eines tödlichen Arbeitsunfalls: 1,2E-06 je Vollarbeiter und Jahr.

#### VdTÜV

Vom VdTÜV wurden in einer Auswertung /37/ 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 Individual-

risiko den Wert für Neuanlagen in den Niederlanden mit 1,0E-06/a zu verwenden.

Werden die aufgeführten Quellen zur Ermittlung eines Risikoakzeptanzkriteriums verglichen, so lässt sich feststellen, 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:

- Untere Grenze: Der untere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von 1,0E-06 pro Person und Jahr.
- Obere Grenze: 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 akzeptabel bzw. 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) /35/ Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich/zu prüfen. Ein Individualrisiko oberhalb von 1,0E-05 wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

### **3.2 Kollektivrisiko**

Neben der Bestimmung des Individualrisikos ist für die Beurteilung von Personenschäden auch die Bestimmung des Kollektivrisikos nötig. Befinden sich im Bereich der geplanten WEA öffentlich genutzte Bereiche auf welchen sich ungeschützte Personen regelmäßig aufhalten, so ist das Kollektivrisiko zu bestimmen.

Für die Beurteilung des Kollektivrisikos ist die Anzahl der Personenschäden und die Eintrittshäufigkeit je Ereignis zu ermitteln. Die Bewertung der ermittelten Eintrittshäufigkeit kann in Anlehnung an das in Abbildung 5 dargestellte F-N-Diagramm erfolgen. Im F-N-Diagramm wird die Anzahl der Todesfälle je Ereignis (N) mit der Eintrittshäufigkeit (F) kombiniert. Für WEA ist N gleich eins zu setzen. Die Anzahl der Personen, welche sich an einem Ereignistag (z.B. Eisabfall) im Gefährdungsbereich der WEA aufhalten können, wird bei der Ermittlung der Eintrittshäufigkeit berücksichtigt.

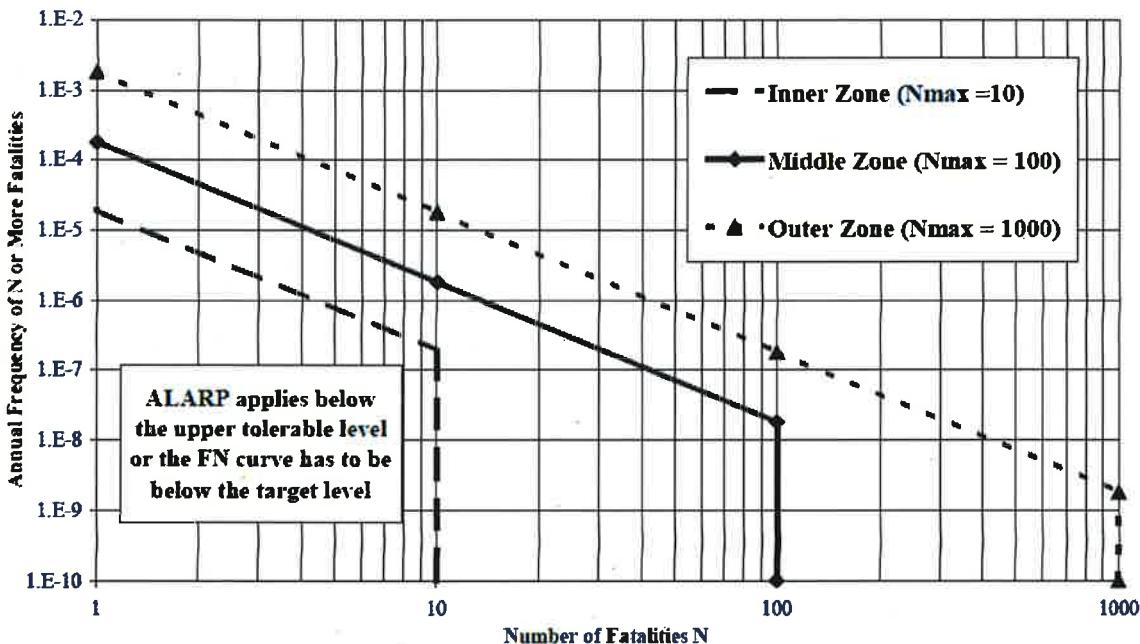


Abbildung 5: F-N-Diagramm. Eintrittshäufigkeit gegenüber Anzahl der Todesfälle je Ereignis /35/.

Für die Ermittlung eines Bewertungsmaßstabes für das Kollektivrisiko von Personen, welche sich ungeschützt im Umkreis der WEA aufhalten, wurden die im Kapitel 3 aufgeführten Quellen verglichen. Daraus lässt sich für das Kollektivrisiko ein tolerabler Risikogrenzwertbereich von 1,0E-03 bis 1,0E-05 feststellen.

- Untere Grenze: Der untere Grenzwert des Kollektivrisikos liegt in einer Größenordnung von 1,0E-05 pro WEA und Jahr.
- Obere Grenze: Der obere Grenzwert des Kollektivrisikos liegt in einer Größenordnung von 1,0E-03 pro WEA und Jahr.

Ein ermitteltes Kollektivrisiko unterhalb von 1,0E-05 ist als akzeptabel bzw. unkritisch zu bewerten. Liegt das ermittelte Kollektivrisiko in einem Bereich zwischen 1,0E-05 und 1,0E-03 ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /35/ Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich. Ein Kollektivrisiko oberhalb von 1,0E-03 wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

## 4 Risikoanalyse

Zur Nutzung der umliegenden Flächen auf dem Betriebsgelände, welche von den Gefährdungsbereichen durch Eisabfall (siehe Kapitel 4.1.4) betroffen sind, wurden die folgenden Angaben gemacht /8/:

- Auf den Flächen direkt unterhalb der WEA sollen hauptsächlich Schüttgüter aus bzw. für den Tiefbau gelagert, gesiebt und umgeschlagen werden. Dazu

halten sich auf der Fläche beim normalen Arbeitsablauf keine Personen ungeschützt im Freien auf. Die Mitarbeiter sitzen in LKWs oder im Radlader. Die LKWs liefern Material an und kippen dieses auf der Fläche ab oder werden mit Material zur Abfuhr beladen. Beide Tätigkeiten können werktags innerhalb von 8 bis 10 Stunden erfolgen, der Einzelvorgang dauert zwischen 3 und 5 Minuten. Hier sind ca. 5 bis 10 LKW Be- bzw. Entladungen im Mittel pro Tag geplant. Zusätzlich befindet sich ein Radlader in diesem Bereich, der Halden aufsetzt und die LKWs belädt. Eine weitere Tätigkeit des Radladers ist das Beschicken einer mobilen Siebmaschine, die in unregelmäßigen zeitabständen für das Absieben einzelner Chargen eingesetzt wird. Bei Witterungsbedingungen, welche Eisansatz bedingen (Temperaturen um den Gefrierpunkt) findet Branchenbedingt keine bzw. nur eine sehr geringe Nutzung der Lagerungsflächen unterhalb der geplanten WEA statt. Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes können witterungsbedingt keine Schüttgüter verarbeitet werden /8/.

- Die durch Mitarbeiter genutzten Bereiche der Betriebstankstelle sowie des LKW-Waschplatzes sind überdacht. Hier halten sich im Rahmen der normalen Arbeitsabläufe keine ungeschützten Personen im Freien auf /8/.

## **4.1 Eisabwurf und Eisabfall**

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

Aufgrund der Systeme zur automatischen Abschaltung der WEA bei Eisansatz ist Eisabwurf von drehenden Rotorblättern für die hier betrachtete WEA nicht anzunehmen (siehe Kapitel 4.1.2 und Kapitel 6). Eine Berechnung des möglichen Gefährungsbereichs für Eisabwurf von drehenden Rotorblättern erfolgt daher nicht.

### **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 /23/, /24/, /25/.

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 Betriebsgelände (Manzke) ist gemäß den Eiskarten Europas /16/, /17/ und den Vereisungstagen des DWD /18/ im Mittel mit ca. 14 möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen. Zusätzlich wurden die Stillstandzeiten der Bestands-WEA für die letzten 10 Jahre übermittelt /7/. Hierbei gab es diverse Jahre mit nur einem Vereisungssereignis pro Jahr sowie auch einige Jahre ohne Eisabschaltung. Der maximale Wert der Vereisungssereignisse lag im Winter 2014/2015 bei 10 unterschiedlichen Eisabschaltungen. Die Stillstandzeiten während den einzelnen Vereisungssereignissen variierten zwischen wenigen Stunden und mehreren Tagen. Die maximale Stillstandzeit war im Winter 2010/2011 mit 11 Tagen am Stück /7/. Die übermittelten Eisabschaltungen der letzten 10 Jahre zeigen auf, dass die ermittelten 14 Vereisungstage pro Jahr als repräsentativ bzw. für die meisten Jahre auch als sehr konservativ für den Standort zu betrachten sind.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungssereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Im Rahmen des Schweizer Forschungsprojekts „Alpine Test Site Gütsch“ /20/, /21/, /22/ 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 /22/. Unter Berücksichtigung der in /21/ 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 2 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	Verhältnis	Eisobjekte/Vereisung
ENERCON E-40	44,0	1.936	1	ca. 14
ENERCON E-82 E2	82,0	6.724	3,5	ca. 49

Tabelle 2: 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 stehenden WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Rotation des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden.

Für die am Standort geplante WEA des Typs ENERCON E-82 E2 ist das ENERCON-Leistungskurvenverfahren für die automatische Eiserkennung und Abschaltung bei Eisansatz vorgesehen /10/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht beim ENERCON-Leistungskurvenverfahren im Wesentlichen auf einer Überwachung der Leistungs- und Blattwinkelkennlinien. Bei Eisansatz kommt es im Leistungsbetrieb durch eine Verschlechterung der Aerodynamik der Rotorblätter zu Abweichungen bestimmter Anlagenparameter (z. B. Rotordrehzahl, Pitchwinkel, el. Leistung) von den wetterabhängigen Erwartungswerten. Das Messprinzip des Leistungskurvenverfahrens basiert auf der Änderung der aerodynamischen Eigenschaften der Blattprofile durch Eisansatz, welcher sowohl die Oberflächenrauigkeit als auch die Geometrie des Blattes so verändert, dass es zu einem signifikanten Verlust an aerodynamischer Leistungsfähigkeit kommt. Diese Aussage wird gestützt durch Veröffentlichungen /42/, in welcher ein hoher Verlust an Auftrieb bereits bei leichter Vereisung messtechnisch gezeigt wird. Die daraus resultierende Leistungsabweichung zu den wetterabhängigen Erwartungswerten wird durch die Steuerung erkannt und die WEA automatisch abgeschaltet /10/, /42/.

Die Wiederinbetriebnahme der WEA nach Abschaltung durch Vereisung erfolgt jeweils erst nach einer temperaturabhängigen Wartezeit nach Ende der Vereisungsbedingungen /10/, /42/. Ein vorzeitiger manueller Neustart der WEA erfolgt erst, wenn ein Eisansatz durch Sichtkontrolle ausgeschlossen werden kann /10/.

Bzgl. des oben aufgeführten Leistungskurvenverfahrens ist anzumerken, dass dieses die WEA nicht präventiv abschalten kann, sondern erst nachdem die WEA im Betrieb leicht vereist ist. Bei Windgeschwindigkeiten unterhalb von 3m/s ist die sichere Eiserkennung ausschließlich nach dem Leistungskurvenverfahren nach derzeitigem Kenntnisstand nicht mit Sicherheit gegeben /10/, /42/. Der Zustand der WEA bei Windgeschwindigkeiten unterhalb von 3m/s ist mit dem Stillstand zu vergleichen.

Für den Fall, dass eine WEA längere Zeit stillsteht (z.B. aufgrund längerer Schwachwindperioden oder eines Defekts) und sich während dieser Zeit die Wetterbedingungen ändern, kann es zu unerkannten Vereisungen an der WEA kommen. Nach einem Fehler ist gemäß den Untersuchungen aus /42/ ein Anfahren der WEA nur bei gemittelten Windgeschwindigkeiten unterhalb von 5,0m/s erlaubt. Gemäß /42/ stellt dieser Startbetrieb gegenüber dem Eisabfall im Stillstand der WEA keine unzulässige zusätzliche Gefährdung dar.

Die prinzipielle Wirksamkeit des Systems wurde durch den TÜV NORD mit /42/ bestätigt und entspricht dem Stand der Technik, die vorliegenden Betriebserfahrungen zum ENERCON Leistungskurvenverfahren bestätigen dessen Wirksamkeit /13/.

Ergänzend zu dem ENERCON-Leistungskurvenverfahren verfügt die WEA über einen LABKO-Eisansatzsensor (windgeschwindigkeitsunabhängiger Eissensor). Dabei wird der LABKO-Eisansatzsensor so eingesetzt, dass das ENERCON-Leistungskurvenverfahren über den ganzen Windgeschwindigkeitsbereich unterstützt wird /6/. Eine Eisbildung führt bei diesem Eissensor zu einer Dämpfung der Eigenschwingung eines im Ultraschallbereich arbeitenden Schwingdrahtes. Über die geänderte Schwingungsamplitude lässt sich eine mögliche Vereisung erkennen /44/, dies auch während des Stillstands der WEA. Der LABKO-Eisansatzsensor wurde von VTT (Technical Research Centre of Finland) geprüft /44/, /45/. Die Prüfergebnisse zeigen, dass der Sensor zur Eiserkennung bei WEA geeignet ist.

#### **4.1.3 Randbedingungen**

Die Berechnungen der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgen ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Im Rahmen der Prüfung des Eiserkennungssystems /42/ wurden die ENERCON Eiserkennung und die Sensoren (Leistungskurvenverfahren) hinsichtlich möglicher Lücken und Fehler überprüft, mögliche Fehler führen zu einer Abschaltung der Anlage. Hierbei wurde der Stand der Technik des Systems bestätigt, sodass von einer sehr geringen Fehlerrate der Eiserkennung ausgegangen werden kann und das Ereignis eines personenkritischen Eisabwurfs vernünftigerweise auszuschließen ist. Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /38/, /39/: 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:

- Anzahl der Simulationen: 100.000.
- WEA-Typ: ENERCON E-82 E2 mit 85,0m NH und 82,0m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbe-

reich Trudeln 0 - 1,8 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.

- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet (Weibull-Parameter A und k).
- Physikalische Parameter: Gravitationskonstante  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , Luftdichte  $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$  (bei 0°C Lufttemperatur).
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe.
- Lageparameter des Eisobjekts:  
 Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /19/ 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 senkrecht zur Windrichtung möglich). Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationsebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall  $(0, 2\pi)$  gleichverteilt.

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 /14/, /16/, /20/. Zudem hat sich in Feldstudien /20/ 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 /20/ auf 1,0kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Form	mittlere Fläche [m <sup>2</sup> ]	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 3: Idealisierte Eisobjekte.

#### 4.1.4 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 4.1.1 ein Wert von 686 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (14 Vereisungstage pro Jahr mit je 49 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 6 sind die Auftreppunkte von 100.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen dargestellt.

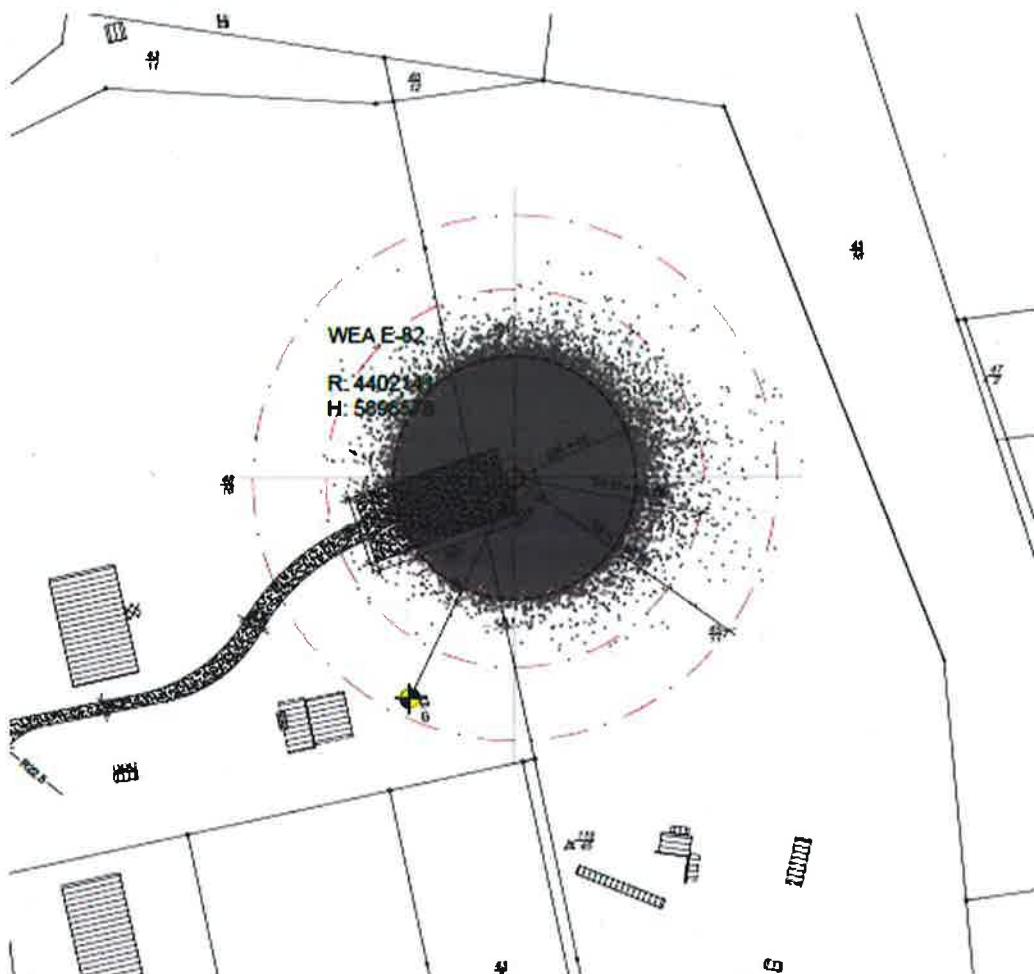


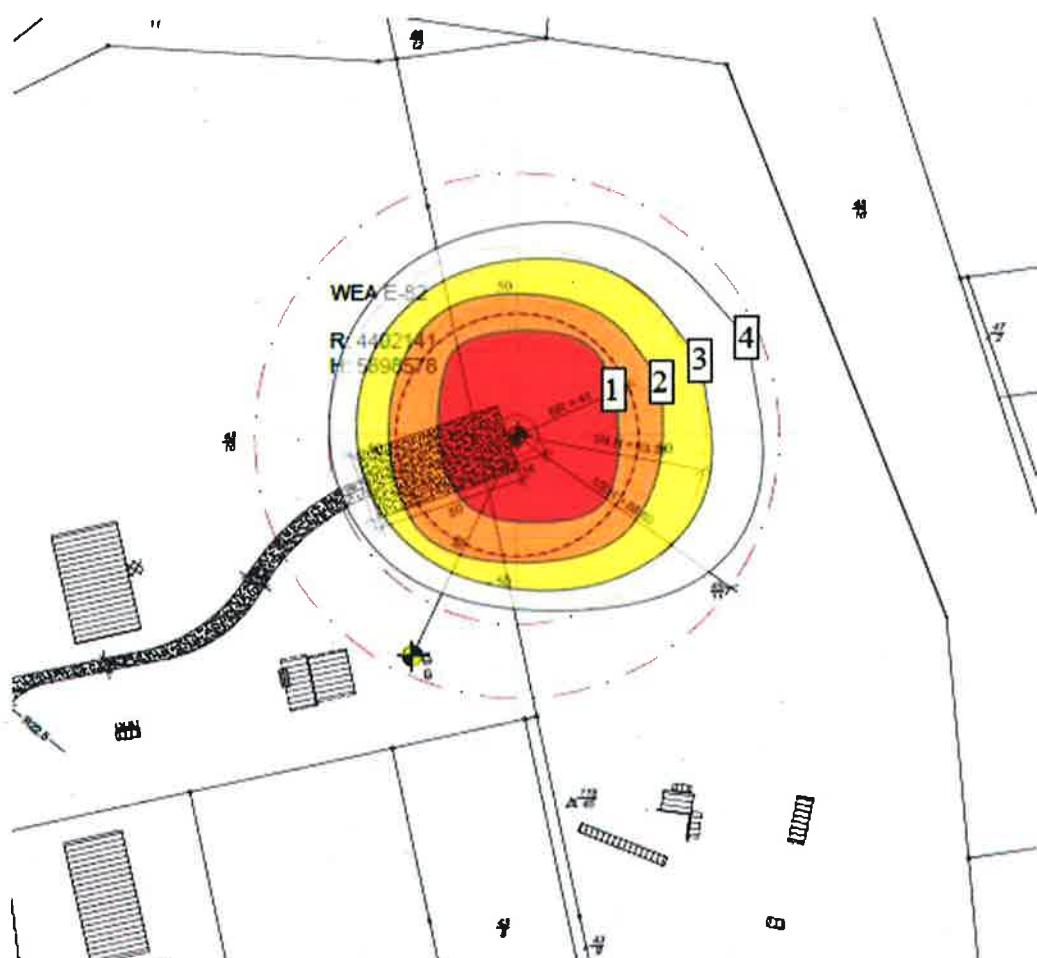
Abbildung 6: Auftreppunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro  $m^2$  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.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [ $1/m^2$ ]	Trefferhäufigkeiten [ $1/(a m^2)$ ]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 6,9E-02
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	6,9E-03 bis 6,9E-02

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ]	Trefferhäufigkeiten [1/(a m <sup>2</sup> )]
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	6,9E-04 bis 6,9E-03
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	6,9E-05 bis 6,9E-04
5*	Farblos	kleiner 1,0E-07	kleiner 6,9E-05

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



**Abbildung 7:** Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] pro Eisabfall (Lageplan). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

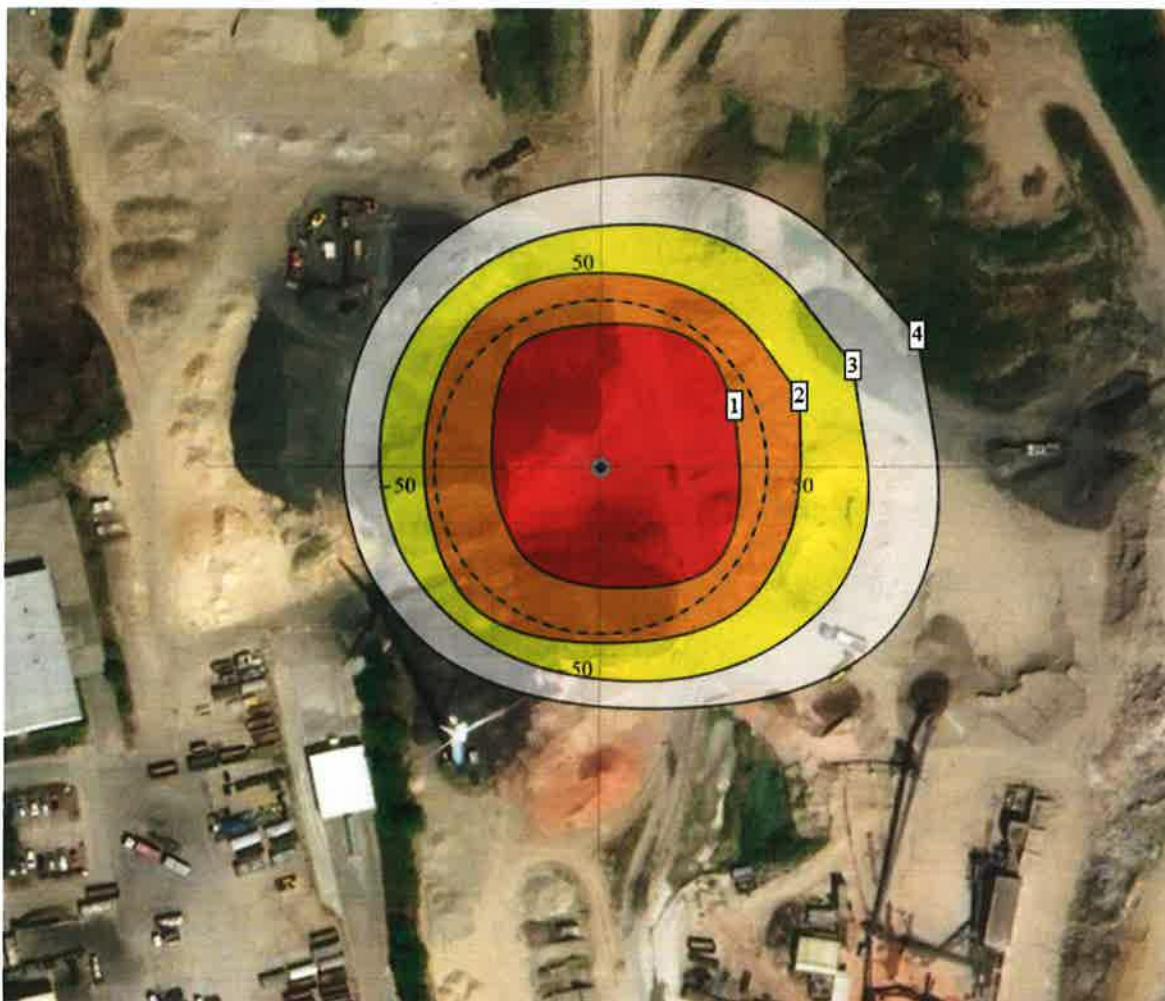


Abbildung 8: Trefferhäufigkeiten [ $1/m^2$ ] pro Eisabfall (Luftbild). Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse zum Eisabfall (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8) zeigen, dass Bereiche der Lager- und Behandlungsflächen für Schüttgüter durch die Gefährdungsbereiche überdeckt werden. Zusätzlich ist zu erkennen, dass die Betriebstankstelle und der LKW-Waschplatz außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall liegen.

## 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 auszuge-

hen, 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 Bewertung

Am Standort Betriebsgelände (Manzke) plant der Auftraggeber die Manzke Besitz GmbH & Co. KG die Errichtung von einer WEA des Typs ENERCON E-82 E2 mit 85,0m NH und 82,0m D. In der Nähe der geplanten WEA befinden sich die Betriebsbereiche der Manzke KSR GmbH.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung eines Mitarbeiters auf dem Betriebsgelände der Manzke Besitz GmbH & Co. KG durch Eisabwurf/Eisabfall vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

Mit /42/ wurde für die Eiserkennung bestätigt, dass das System dem Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Auf Basis der uns zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 4.1.2) von drehenden Rotorblättern kommt der TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachtete WEA nicht anzunehmen ist.

Die Ergebnisse der Simulation des Eisabfalls (siehe Kapitel 4.1.4) zeigen, dass Bereiche der Lager- und Behandlungsflächen für Schüttgüter durch die Gefährdungsbereiche überdeckt werden. Zusätzlich ist zu erkennen, dass die Betriebstankstelle und der LKW-Waschplatz außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall liegen. Da die Arbeitsbereiche der Betriebstankstelle und des LKW-Waschplatzes überdacht sind und außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall liegen, die Arbeiten auf den Lager- und Behandlungsflächen für Schüttgüter in überdachten Maschinen ausgeführt werden und im Winter bei entsprechenden Witterungsbedingungen für Eisansatz (Temperatur unterhalb des Gefrierpunktes) gar keine bzw. nur eine sehr geringe Nutzung stattfindet, ist eine direkte Gefährdung von Personen auf dem Betriebsgelände durch Eisabfall der geplanten WEA nicht anzunehmen. Überdachte Maschinen bieten Schutz gegen möglichen Eisabfall. Die Fahrer von LKWs oder Radladern sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabfallende Eisobjekte geschützt. Ein von oben herabstürzendes Eisobjekt könnte demnach auf das Dach fallen. Dem TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt das Metalldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 4.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 4.1 empfehlen wir die folgenden Maßnahmen zur Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems (inkl. Labko-Eissensor) der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /29/, /27/ durch einen unabhängigen Sachverständigen geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems (inkl. Labko-Eissensor) im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA (Wiederkehrende Prüfung (WKP)) /29/, /27/ durch einen unabhängigen Sachverständigen /40/ zu prüfen.
- Wurde Eisansatz durch das Eiserkennungssystem festgestellt, so sollten die Mitarbeiter der betroffenen Betriebe unverzüglich informiert werden und der ungeschützte Aufenthalt (Tätigkeiten ohne Überdachung) im exponierten Bereich (bis einschließlich Gefährdungsfläche 4, siehe Kapitel 4.1.4) solange vermieden werden, bis der Eisansatz durch Sichtkontrolle des autorisierten Personals ausgeschlossen werden kann. Wenn nicht anders möglich, so sollten ungeschützte Arbeiten im Freien bei Eisansatz mit persönlicher Schutzausrüstung (Kopfschutz: Industrieschutzhelm nach DIN EN 397 /46/) ausgeführt werden. Die Arbeiten sollten dann so geplant werden, dass sie im Luvbereich der WEA ausgeführt werden.
- Aufgrund des erhöhten Gefahrenpotentials sollte der Wiederanlauf nach Eisansatz während der Arbeitszeiten manuell erfolgen. Der manuelle Neustart der WEA sollte erst dann erfolgen, wenn ein Eisansatz durch Sichtkontrolle einer autorisierten Person ausgeschlossen werden kann. Außerhalb der Arbeitszeiten, wenn sich keine ungeschützten Personen auf dem Betriebsgelände aufhalten, kann der Neustart automatisch nach den vorgesehenen Wartezeiten (siehe Kapitel 4.1.2) erfolgen.
- Die Mitarbeiter des betroffenen Betriebsgeländes sind regelmäßig im Rahmen der Sicherheitsunterweisung nach §12 Arbeitsschutzgesetz /41/ über die Gefährdungen und Maßnahmen durch Eisabfall zu unterrichten. Zur Unterweisung gehören auch die vorgesehenen Warnhinweise, welche eine Eisabfallgefahr anzeigen.
- Durch Hinweisschilder (etwa im Abstand Gesamthöhe der WEA, außerhalb der Gefährdungsbereiche) ist an den Zufahrtswegen der WEA sowie an den umliegenden betroffenen Wegen auf dem Betriebsgelände auf die Gefährdung durch Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzern der Wege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.

Für die Beschilderung wurde mit /3/ ein Beschilderungsplan für die Warnschilder vor Eisabfallgefahr übermittelt. Hierbei sind an allen möglichen Zuwegungen zum Gefahrenbereich Warnschilder geplant. Im Bereich der Hauptzufahrt, im südlichen Bereich des Betriebsgeländes, sind Warnschilder mit zusätzlichen Warnleuchten geplant, welche ein Betreten bei aktiver Warnleuchte (Eisansatz) untersagen. Im Rahmen der Inbetriebnahme der WEA und den regelmäßig zum Beginn des Winters sollten für die aktiven Warnleuchten eine Funktionsprüfung (inkl. Dokumentation) durchgeführt

werden. Mit der Umsetzung des übermittelten Beschilderungsplans wäre Vorgeschlagene Maßnahme zu den Hinweisschildern erfüllt.

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 über die zusätzliche Planung des Labkotec-Eissensors /6/ eine Redundanz zum ENERCON-Leistungskurvenverfahren geschaffen wird,
- dass im Winter bei entsprechenden Witterungsbedingungen für Eisansatz (Temperatur unterhalb des Gefrierpunktes) gar keine bzw. nur eine sehr geringe Nutzung der betroffenen Bereiche stattfindet,
- dass die Arbeiten in den durch Eisabfall gefährdeten Bereichen in der Regel in überdachten Maschinen ausgeführt werden, welche einen Schutz gegenüber möglichen herabfallenden Eisobjekten bieten,
- dass während der bisherigen Betriebszeit der bestehenden WEA (1997 bis 2016) keine Fälle von Eisabfall mit Personengefährdung (verletzte Personen) aufgetreten sind,
- dass Warnhinweise zur Warnung (inkl. aktiver Warnung durch Warnleuchten) 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, als akzeptabel bzw. unkritisch zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Liste der Technischen Baubestimmungen des Bundeslandes Niedersachsen /28/ eingeführten technischen Regeln Anlage 2.7/12: „Gefahr des Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von  $1,5 \times (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})$ “ sowie in Anlehnung an
- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /30/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine unzulässige Gefährdung eines Mitarbeiters auf dem Betriebsgelände der Manzke Betriebe durch die Errichtung der geplanten WEA am Standort Betriebsgelände (Manzke) durch Eisabwurf/Eisabfall nicht zu unterstellen.

## 7 Rechtsbelehrung

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme ist nur in ihrer Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden überlieferten 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]
ALARP	As Low As Reasonable Practicable	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
D	Rotordurchmesser	[m]
h	Stunde	[h]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[ - ]
Kfz	Kraftfahrzeug	
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimalen endogenen Sterblichkeit	
min	Minute	[min]
NH	Nabenhöhe	[m]
P <sub>Nenn</sub>	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
WEA	Windenergieanlage(n)	
WKP	Wiederkehrende Prüfung	

## 9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ Manzke Verwaltungs GmbH. Angaben zu den WEA-Spezifikationen und den Koordinaten. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mails vom 21.06.2016 und 01.09.2016.
- /2/ Manzke Verwaltungs GmbH. Lageplan: Lageplan, Stand 20.10.2016. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mail vom 28.10.2016.
- /3/ Manzke Verwaltungs GmbH. Beschilderungsplan Warnhinweise Eisabfall, Stand 11.11.2016. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mail vom 28.10.2016.
- /4/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Angaben zu den meteorologischen Daten: Ergebnisübersicht Bestimmung des Windpotenzials und des Energieertrages für eine geplante Windenergieanlage auf dem Betriebsgeländer der Firma Manzke, August 2016, Referenz-Nr.: 2016-WND-WPE-047-ER0. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH am 01.09.2016.
- /5/ Manzke Verwaltungs GmbH. Angaben zum geplanten Eiserkennungssystem. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mails vom 21.06.2016 und 09.09.2016.
- /6/ ENERCON GmbH. Technische Beschreibung ENERCON Eiserkennung Labko-Sensor, Dokument D0154408-2. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mail vom 01.11.2016.
- /7/ Manzke Verwaltungs GmbH. Angaben zur Vereisungshäufigkeit am Standort und den Erfahrungen mit Eisabfall. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mails vom 10.08.2016 und 20.09.2016.
- /8/ Manzke Verwaltungs GmbH. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Expositionszeiten. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mails vom 07.09.2016 und 09.09.2016.
- /9/ Manzke Verwaltungs GmbH. Anpassungen im Rahmen der Revision 1. Übermittelt durch die Manzke Verwaltungs GmbH mit E-Mails vom 18.10.2016, 28.10.2016 und 31.10.2016.
- /10/ ENERCON GmbH. Technische Beschreibung ENERCON Eiserkennung Leistungskurvenverfahren, D0154407-3, Stand 14.05.2014.
- /11/ ENERCON GmbH. Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Rotorblattheizung Betrieb bei stehender Windenergieanlage, D0141846-3, Stand 31.03.2013.
- /12/ Deutsche WindGuard Consulting GmbH. Zusammenfassung einer technischen Bewertung der Rotorblattenteisung von ENERCON. Bericht-Nr.: PP11036. 22.09.2011. Übermittelt durch ENERCON GmbH E-Mail vom 19.12.2011.
- /13/ Cattin, R. Zuverlässigkeit der ENERCON Eiserkennung. Schreiben an ENERCON vom 22.03.2012. Genossenschaft METEOTEST. 2012.

- /14/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /15/ Seifert, H. Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen Standorten. St. Poelten. 2002.
- /16/ 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.
- /17/ Rosten, G. et al. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates. IEA Wind Task 19. Edition October 2012.
- /18/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de Februar 2014.
- /19/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /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/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010.
- /24/ 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.
- /25/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /26/ DIN 1055-5. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislästen. Berlin. Juli 2005.
- /27/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Fassung Oktober 2012.
- /28/ Niedersächsisches Ministerium für Soziales, Gesundheit und Gleichstellung. Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen. Fassung Dezember 2015.
- /29/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /30/ BlmSchG 2012. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 27.6.2012.

- /31/ 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.
- /32/ DIN EN 50126. Bahnanwendungen. Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). März 2000.
- /33/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /34/ DGUV. DGUV-Statistiken für die Praxis 2013. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). 2013.
- /35/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /36/ Störfall-Kommission. 2004. Bericht, Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41.
- /37/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /38/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /39/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /40/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Osnabrück. 21.09.2007.
- /41/ Arbeitsschutzgesetz. <http://www.gesetze-im-internet.de>. Gelesen am 04.03.2016. Stand 2009.
- /42/ NASA: Ice Accretions and Icing Effects for Modern Airfoils, April 2000.
- /43/ TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG. Gutachten zur Bewertung der Funktionalität von Eiserkennungssystemen zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen: Eisansatzerkennung nach dem ENERCON Kennlinienverfahren, Bericht Nr.: 8111881239-2 Rev.0. 18.11.2014.
- /44/ VTT Technical Research Centre of Finland. VEREISUNGS-/EISREGENPRÜFUNG FÜR EISDETEKTOR LID/IS. Vereisungs-/Eisregenprüfung gemäß MIL-STD-810F, Verfahren 521.2. Espoo, Finnland. 2008.
- /45/ VTT Technical Research Centre of Finland. Pre-certification of Labkotec LID-3300IP ice detector for wind energy applications. Report VTT-CR-04740-11. Espoo, Finnland. 2011.
- /46/ DIN EN 397. Industrieschutzhelme. Stand April 2012.

## 10 Anhang

### 10.1 Beschilderung Eiswarntafeln Betriebsgelände Manzke

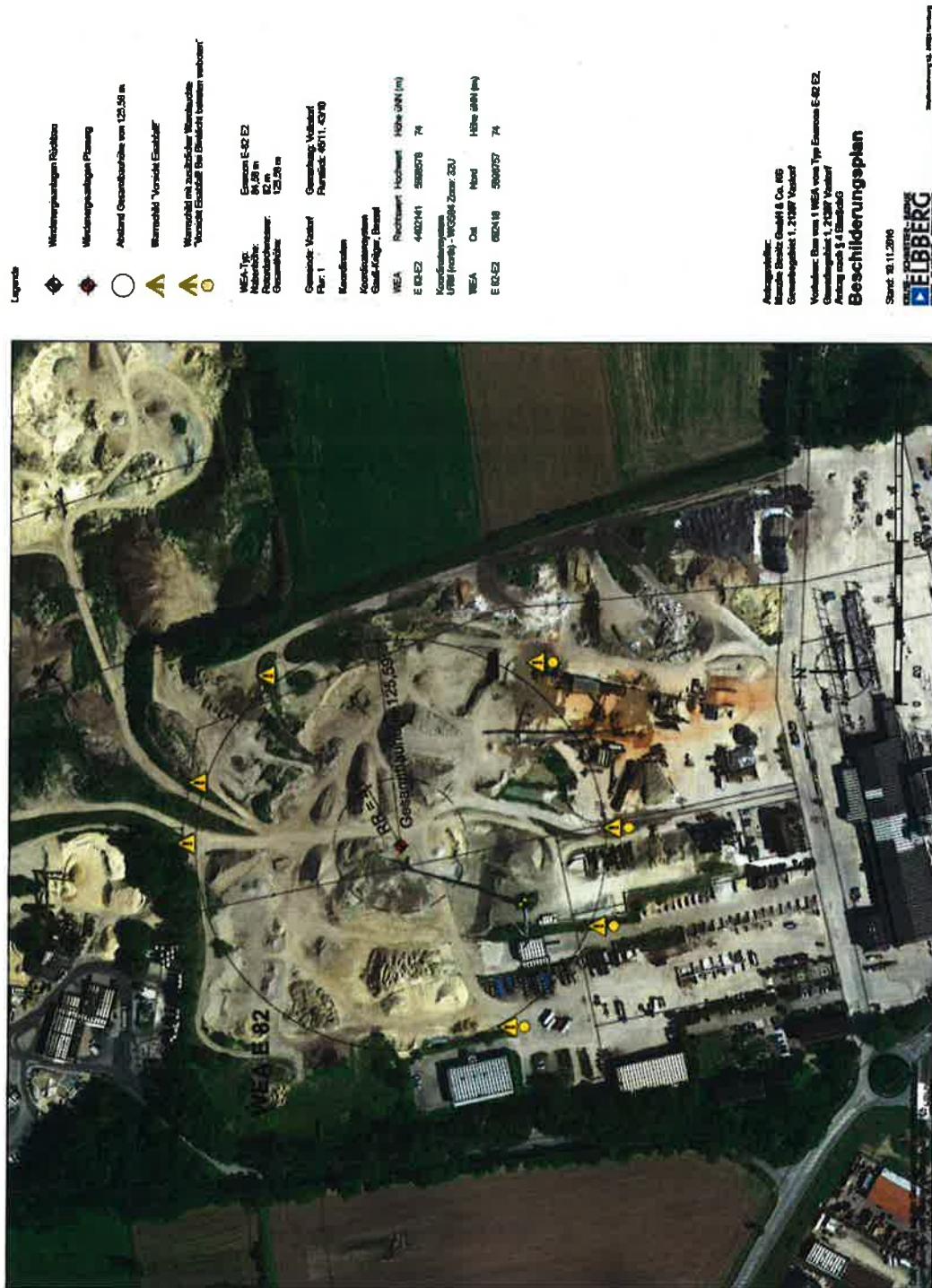


Abbildung 9: Beschilderung Eiswarntafeln Betriebsgelände Manzke /3/.