

**Gutachtliche Stellungnahme zur
Risikobeurteilung Eisabwurf am
Windenergieanlagen-Standort Madlitz**

Erstellt im Auftrag für

GBB Windpark Madlitz GmbH & Co. KG

Briesen (Mark) OT Alt Madlitz

Revision 0

Hamburg, 14.12.2018

Revision	Datum	Änderung
0	14.12.2018	Erste Ausgabe

Gegenstand: Risikobeurteilung am Windenergieanlagen-Standort
Madlitz

Referenz-Nr.: 2018-WND-RB-257-R0

Auftraggeber: GBB Windpark Madlitz GmbH & Co. KG
Schlossstraße 32
15518 Briesen (Mark) OT Alt Madlitz

Anlagenhersteller: Nordex SE
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg

WEA-Typ:	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Nordex N149	4,5	149,0	164,0

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 /4/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und des Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /5/.

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger	Hamburg, 14.12.2018
Geprüft durch	Dr. R. Fischer Sachverständiger	Hamburg, 14.12.2018

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

Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Aufgabenstellung	5
2 Angaben zu den Windenergieanlagen und der Standortumgebung	7
3 Bewertungsmaßstab	7
3.1 Individualrisiko.....	8
3.2 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko).....	9
4 Risikoanalyse.....	10
4.1 Eisabwurf	10
4.1.1 Vereisungspotential.....	11
4.1.2 Automatische Eisabschaltung	12
4.1.3 Randbedingungen.....	13
4.1.4 Gefährdungsradius.....	14
5 Modell- und Datenunsicherheiten	16
6 Zusammenfassung und Risikobewertung	16
7 Rechtsbelehrung	19
8 Formelzeichen und Abkürzungen	20
9 Literatur- und Quellenangaben.....	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan /2/.....	7
Abbildung 2: Gefährdungsradius (Eisabwurf) – rot gestrichelt ($v = 18,1\text{m/s}$).....	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.	12
Tabelle 2: Idealisierte Eisobjekte.....	14
Tabelle 3: Ermittelte Fallweiten.	15

1 Aufgabenstellung

Am Standort Madlitz plant der Auftraggeber, die GBB Windpark Madlitz GmbH & Co. KG, die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA) des Typs Nordex N149 mit 164,0m Nabenhöhe (NH) und 149,0m Rotordurchmesser (D). In der Nähe des geplanten Windparks befinden sich die Landesstraße L38 und die Neu Madlitzer Straße.

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 geplanten WEA beeinträchtigt wird. In der durch das Bundesland Brandenburg 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 GBB Windpark Madlitz GmbH & Co. KG mit Schreiben vom 15.11.2018 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall beauftragt worden. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Landestraße L38 und der Neu Madlitzer Straße durch Eisabwurf/Eisabfall der geplanten WEA. Die Erstellung der gutachtlichen 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 Nordex N149.
3. Darstellung der ermittelten Kenngrößen zur Risikobewertung.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch abgeworfene Eisobjekte von WEA des Typs Nordex N149 am Windenergieanlagen-Standort Madlitz in Abhängigkeit der Ergebnisse der Risikobewertung. Dies umfasst eine Einordnung

der Ergebnisse sowie die Nennung umgesetzter und/oder möglicher weiterer Maßnahmen zur Risikominderung.

Eine weitere Analyse des möglichen Schadensverlaufs durch Eisabwurf/Eisabfall, (z.B. Gebäudeschäden, Fahrzeugschäden, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme. Die Risikobeurteilung erfolgt auf Grundlage der eingereichten Unterlagen. Es wurde ausschließlich die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf der Landesstraße L38 und der Neu Madlitzer Straße durch Eisabwurf/Eisabfall durch die neugeplanten WEA beurteilt, mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der geplanten WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme.

2 Angaben zu den Windenergieanlagen und der Standortumgebung

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Nordex N149 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.

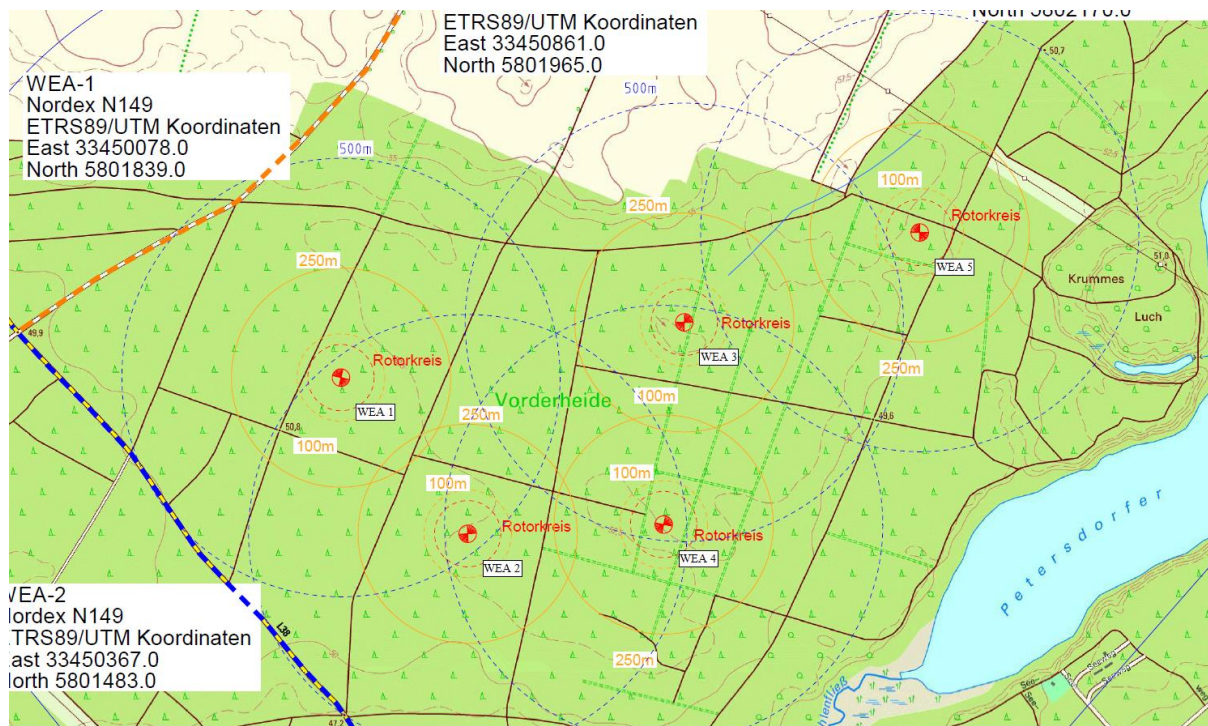


Abbildung 1: Lageplan /2/.

Die Angaben zum Standort wurden der Übersichtskarte /2/ und der Standortbeschreibung /5/ entnommen.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Madlitz ist flächendeckend bewaldet. Westlich der geplanten WEA befindet sich die Landesstraße L38 (siehe Abbildung 1, blau gestrichelte Linie). Nördlich verläuft die Neu Madlitzer Straße (siehe Abbildung 1, orange gestrichelte Linie). Zusätzlich verlaufen innerhalb des geplanten Windparks einige forstwirtschaftlich genutzte Wirtschaftswege, welche auch als Zufahrt zu den einzelnen WEA genutzt werden /5/. Der kürzeste Abstand der WEA 1 zur Landesstraße L38 beträgt ca. 485m und zur Neu Madlitzer Straße ca. 458m /2/.

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 Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes /32/.
- 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 /32/ 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.

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 zu einander 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 Reasonably 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 geplanten WEA wird das allgemein vorliegende Risiko im Straßenverkehr betrachtet. Diesbezüglich ist in Anlehnung an die Straßenverkehrsordnung (StVO) der Bundesrepublik Deutschland die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten /33/ und darf durch den Zubau einer WEA nicht gefährdet werden. Für die Bewertung der Gefährdung des Straßenverkehrs werden die aktuellen Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes herangezogen /32/. Zeigt es sich, dass sich das Unfallrisiko des zu beurteilenden Straßenabschnittes 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/). In Anlehnung an die Vorgaben der StVO /33/ werden für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs nicht nur die möglichen Unfälle mit tödlichem Ausgang betrachtet, sondern alle Unfälle mit einer schweren Unfallfolge herangezogen und bewertet.

Die Daten des Statistischen Bundesamtes zu den Verkehrsunfällen sind für unterschiedliche Situationen aufbereitet /32/. Im Jahr 2017 gab es je 1.000km Straßenlänge

- innerorts 4.126,
- außerorts ohne Autobahnen 445 und
- auf Autobahnen 1.610

Unfälle mit Personenschaden.

Zusätzlich sind in /32/ 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 2017 ergibt sich die Unfallhäufigkeit von schweren Verkehrsunfällen mit Personenschaden außerorts (ohne Autobahn) zu $1,0E-01$ pro km und Jahr. Dies entspricht einem schweren Verkehrsunfall mit tödlichem Ausgang bzw. schwerverletzten Personen alle 10 Jahre.

Unter Berücksichtigung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), ergibt sich daraus die obere Grenze des zu berücksichtigenden Risikogrenzwertbereichs für die Gefährdung des Straßenverkehrs außerorts (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 außerorts (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 Madlitz zu betrachtenden Straßenabschnitte bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb von $1,0E-06$ pro Meter und Jahr als unkritisch zu bewerten ist. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit 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 Unfallhäufigkeit 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

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 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 Madlitz ist gemäß den Eiskarten Europas /12/, /14/ und den Vereisungstagen des DWD /15/, /16/ im Mittel mit ca. 14 möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen.

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	1,0	ca. 14
Nordex N149	149,0	22.201	11,5	ca. 161

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 geplanten WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügen. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von den abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen.

Das Sicherheitskonzept für die geplanten WEA zur Behandlung von Eisansatz und zur Verhinderung von Eisabwurf /4/, /6/ /7/, /8/ beinhaltet drei unterschiedliche Systeme zur indirekten Eiserkennung (Schwingungsüberwachung, Leistungskurvenverfahren und Vergleich der Windmessung).

Setzt sich das gebildete Eis ungleichmäßig an den Rotorblättern an, so kann dies zu einer Unwucht an den Rotorblättern führen. Diese Unwucht regt wiederum die Gondel und den Turm zu Vibrationen an, die über die standardmäßig installierte und dauerhaft

arbeitende Turmschwingungsüberwachung erkannt werden. Im Falle von unzulässig hohen Vibrationen wird die Anlage sofort gestoppt. Nach bisheriger Kenntnislage dient die Eiserkennung mittels Schwingungsüberwachung im Maschinenhaus jedoch überwiegend dem Anlagenschutz. /6/

Bei Eisansatz an den Rotorblättern verändern sich deren Form und damit ihr aerodynamisches Profil, so dass es zu einer Abweichung zwischen Soll- und Ist- Leistung bei der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit kommt (Leistungskurvenverfahren). Die WEA wird bei Nichteinhaltung der Vorgabeparameter sofort „sanft“ abgebremst. /7/, /8/

Da sich der Rotor zur Eiserkennung drehen muss, können die beiden oben genannten Verfahren nicht im Stillstand funktionieren. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten (unter 3m/s) ist die Eiserkennung durch das Leistungskurvenverfahren sowie die Schwingungsüberwachung nicht möglich. /7/, /8/

Die Standardmaßnahmen des Sicherheitssystems dienen in erster Linie der Anlagensicherheit /8/. Die Kombination der sicherheitstechnischen Standardverfahren zur Eiserkennung der Nordex WEA (Schwingungsüberwachung, Leistungskurvenverfahren, Vergleich der Windmessungen) sind prinzipiell dazu geeignet, einen Eisansatz an den Rotorblättern zu erkennen und die WEA abzuschalten und damit eine Gefährdung von Personen und Schutzobjekten in der Umgebung der WEA durch Eisabwurf zu reduzieren /7/, /8/. Die sicherheitstechnischen Standardverfahren sind jedoch nicht ausreichend, um den Betrieb der WEA bei Vereisung in jedem Fall zu verhindern /7/. Bei Vereisungsbedingungen und Abschaltung der WEA infolge einer Eiserkennung durch die sicherheitstechnischen Standardverfahren ist sicherzustellen, dass die WEA nur neu gestartet wird wenn die Eisfreiheit vor Ort geprüft wurde, da eine Eiserkennung im Stillstand nicht möglich ist /7/.

4.1.3 Randbedingungen

Für die Berechnungen der Fallweiten werden die folgenden Rahmenbedingungen angenommen:

- Drehzahl bei Eisabwurf: entspricht der maximalen Anlagendrehzahl von 12,3U/min /1/.
- Lageparameter des Rotorblattes: Die Stellung des Rotorblattes wird zur Ermittlung der maximalen Eisabwurfweite in der Rotationsebene der Rotorblätter schrittweise variiert.
- 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 99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung auf Nabenhöhe 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: Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, 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 /9/, /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, werden für die Berechnungen idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe angesetzt. Die Gewichte der Eisobjekte werden 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/m ³]	Form	mittlere Fläche [m ²]	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	Platte	0,026	1,23
5	1,0	700	Platte	0,035	1,31

Tabelle 2: Idealisierte Eisobjekte.

4.1.4 Gefährdungsradius

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 238,5m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 18,1m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /3/) auf Basis der in Tabelle 2 angegebenen Eisobjekte die maximalen Wurfweiten ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
18,1	280,6	263,5	252,2	266,5	291,5

Tabelle 3: Ermittelte Eisabwurfweiten.

Die ermittelte maximale Wurfweite ist der Spalte 6 der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen. Diese maximale Wurfweite ist in der nachfolgenden Abbildung 2 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass keine Abschnitte der Landesstraße L38 oder der Neu Madlitzer Straße durch den Gefährdungsradius durch Eisabwurf der geplanten WEA überdeckt werden. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass Teile des Gefährdungsradius durch Eisabwurf der geplanten WEA Abschnitte der Wirtschaftswege überdecken. Für die hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /5/ wird die mögliche Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

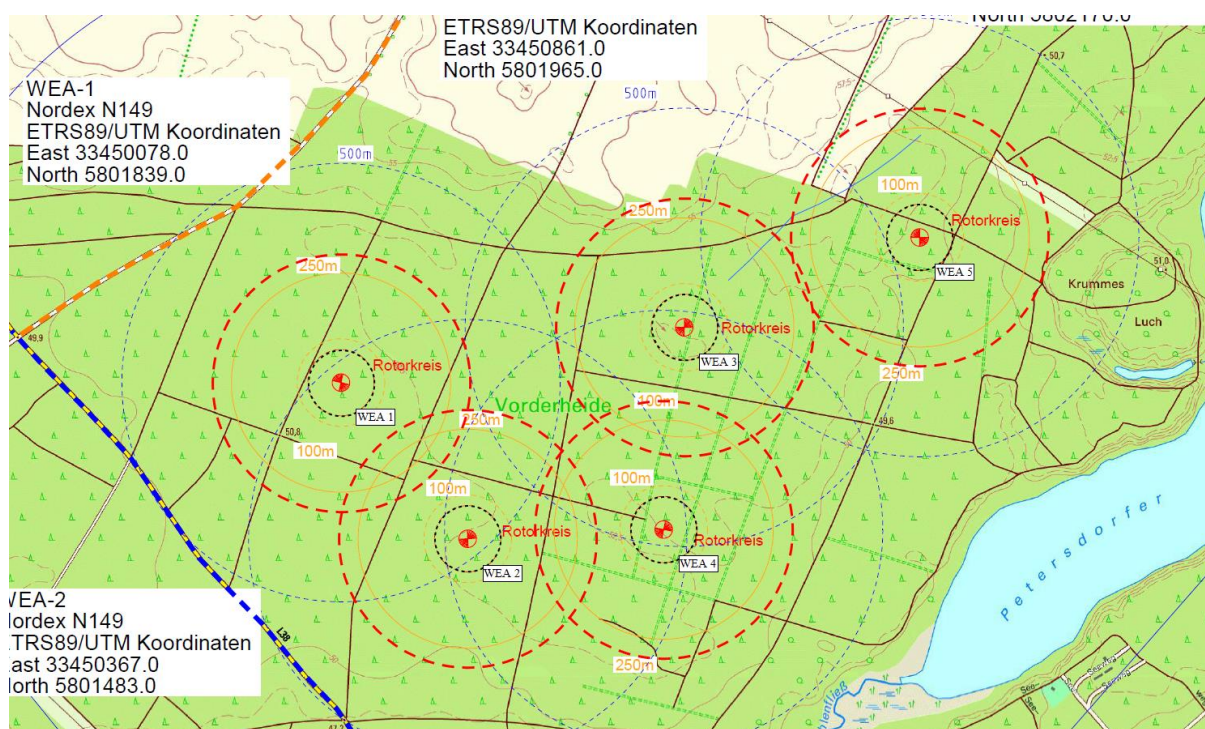


Abbildung 2: Gefährdungsradius (Eisabwurf) – rot gestrichelt (v = 18,1m/s).

Für den Eisabfall bei abgeschalteter WEA (Trudelbetrieb) sei angemerkt, dass die Fallweiten gegenüber dem Eisabwurf (WEA im Betrieb) geringer sind. Dies ergibt sich vorrangig aus der geringeren Rotordrehzahl der WEA im Trudelbetrieb gegenüber dem Normalbetrieb der WEA.

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 Madlitz plant der Auftraggeber, die GBB Windpark Madlitz GmbH & Co. KG, die Errichtung von fünf WEA des Typs Nordex N149 mit 164,0m NH und 149,0m D. In der Nähe der geplanten WEA befinden sich die Landesstraße L38 und die Neu Madlitzer Straße.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung eines Verkehrsteilnehmers der Landesstraße L38 oder der Neu Madlitzer Straße durch Eisabwurf 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 zum folgenden Ergebnis:

Mit /7/ und /8/ wurde für die Eiserkennung bestätigt, dass die Kombination der Verfahren zur Eiserkennung der Nordex WEA (Schwingungsüberwachung, Leistungskurvenverfahren, Vergleich der Windmessungen) prinzipiell dazu geeignet sind, einen Eisansatz an den Rotorblättern zu erkennen, die WEA abzuschalten und damit eine Gefährdung von Personen sowie etwaigen weiteren Schutzobjekten in der Umgebung der WEA durch Eisabwurf zu reduzieren. Die Standardmaßnahmen des Sicherheitssystems dienen jedoch in erster Linie der Anlagensicherheit /8/. Die Verfahren sind nicht ausreichend, um den Betrieb der WEA bei Vereisung in jedem Fall (z.B. nach Stillstand) sicher zu verhindern /7/. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme die Gefährdung durch Eisabwurf am Standort Madlitz betrachtet und bewertet, ob eine besondere Gefährdung durch Eisabwurf für Verkehrsteilnehmer auf der Landesstraße L38 oder der Neu Madlitzer Straße besteht.

Für die forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Forstwege, ist eine Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall nicht direkt zu unterstellen. Sollten hier Arbeiten im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt. Bei Forstarbeiten im Freien wird üblicherweise ein Helm getragen bzw. kommen bei größeren Durchforstungsmaßnahmen überdachte Maschinen zum Einsatz. Diese bieten einen Schutz gegen möglichen Eisabfall. Die Fahrer forstwirtschaftlicher 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.

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

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /26/, /25/ geprüft und schriftlich dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA (Wiederkehrende Prüfung (WKP) /26/, /25/ aufzuzeigen.
- Durch Hinweisschilder (etwa im Abstand der 1,5-fachen Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftswegen auf die Gefährdung durch Eisabwurf/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.
- Die Mitarbeiter der betroffenen Forstbetriebe sollten im Rahmen der Sicherheitsunterweisung nach §12 Arbeitsschutzgesetz /37/ über die Gefährdungen durch Eisabfall unterrichtet werden. Zur Unterweisung gehören auch die vorgesehenen Warnhinweise, welche eine Eisabfallgefahr anzeigen. Durch den Betreiber der geplanten WEA sind die hierfür benötigten Unterlagen für die betroffenen Forstbetriebe zur Verfügung zu stellen.

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass im Winter in den Wäldern am Standort grundsätzlich mit einem Risiko durch Eisabfall und brechenden Bäumen zu rechnen ist,
- 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 Fahrzeuges zum Zeitpunkt des Treffers des Eisobjekts sowie den durch die Bäume der umliegenden Bewaldung bestehenden natürlichen Schutz (Abschattung)),

- dass sich die abgeschalteten, vereisten WEA prinzipiell nicht von anderen Bauwerken mit Eisansatz unterscheiden,
- dass über die Bäume am Standort ein natürlicher Schutz gegenüber herabfallenden Eisobjekten von einer vereisten WEA besteht (Abschattung),
- dass Forstarbeiten im Freien in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt werden, sowie dass bei Forstarbeiten ein Helm getragen wird und grundsätzlich von einem erhöhten Gefahrenpotential durch brechende Äste / Bäume und durch die Arbeit mit der Kettensäge ausgegangen werden muss,
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /5/ hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzt werden und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher geringen Frequentierung durch mögliche Freizeitnutzung (Spaziergänger oder Fahrradfahrer) ausgegangen werden kann,
- dass davon auszugehen ist, dass der forstwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen erfolgt,
- dass Warnhinweise zur Warnung vor akuter Eisabfallgefahr an allen möglichen Zugängen zum Windpark aufgestellt werden sollen und hierüber die Möglichkeit zur Gefahrenvermeidung gegeben ist,
- dass die vorgesehenen Maßnahmen zur Eiserkennung und Verhinderung von Eisabwurf grundsätzlich dazu geeignet sind die Gefahr durch Eisabwurf zu reduzieren und von Eisabfall generell eine geringere Gefährdung als von Eisabwurf ausgeht,

ist das nach Umsetzung obiger Maßnahmen verbleibende Restrisiko, als unkritisch zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Liste der Technischen Baubestimmungen des Bundeslandes Brandenburg /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 konkrete Gefährdung der Landesstraße L38 oder der Neu Madlitzer Straße durch Eisabwurf/Eisabfall von den betrachteten WEA am Standort Madlitz 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]
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
CMS	Condition Monitoring System	
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/ GELSENWASSER AG. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch GELSENWASSER AG mit E-Mail vom 27.11.2018.
- /2/ GELSENWASSER AG. Lageplan: Übersicht TK 25 Alt Madlitz, Stand: 26.11.18. Übermittelt durch GELSENWASSER AG mit E-Mail vom 27.11.2018.
- /3/ Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH. Angaben zu den meteorologischen Daten: Windklima Alt Madlitz, Stand: 20.09.17. Übermittelt durch GELSENWASSER AG mit E-Mail vom 20.09.2017.
- /4/ GELSENWASSER AG. Angaben zum Eiserkennungssystem: Übermittelt durch GELSENWASSER AG mit E-Mail vom 20.11.2018.
- /5/ GELSENWASSER AG. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch GELSENWASSER AG mit E-Mail vom 20.11.2018.
- /6/ Nordex Energy GmbH. Allgemeine Dokumentation Eiserkennung an Nordex Windenergieanlagen, Gültig für alle Nordex Windenergieanlage, Dokument: NALL01_008528_DE, Revision 04, Stand: 05.09.2017. Übermittelt durch GELSENWASSER AG mit E-Mail vom 20.11.2018.
- /7/ TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG. Gutachtliche Stellungnahme zur Eiserkennung mittels Leistungskurvenverfahren bei NORDEX K08 Gamma und K08 Delta Windenergieanlagen, Bericht Nr.: 8111327215-2 D Rev. 0. 27.05.2014.
- /8/ TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG. Gutachtliche Stellungnahme zur Plausibilitätsprüfung des bordinternen Nordex Eiserkennungssystems, Bericht Nr.: 8111838274 Rev. 0. 06.11.2014.
- /9/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /10/ Seifert, H. Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen, Ergebnisse und Empfehlungen aus einem EU Forschungsprojekt. DEWI. Wilhelmshaven. Oktober 1999.
- /11/ Seifert, H. Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen Standorten. St. Poelten. 2002.
- /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/ Tammelin, B., et al. Wind Turbines in Icing Environment: Improvement of Tools for Siting, Certification and Operation - NEW ICETOOLS. Finnish Meteorological Institute, 2005.
- /14/ Rosten, G. et al. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates. IEA Wind Task 19. Edition October 2012.

- /15/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.
- /16/ Wichura, B. (DWD). The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icings, IWAIS 2013.
- /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 Infrastruktur und Landesplanung (Land Brandenburg). Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Fassung Oktober 2018.
- /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/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2018.
- /33/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). <http://www.gesetze-im-internet.de>. Gelesen am 10.12.2018. Stand 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/ Arbeitsschutzgesetz. <http://www.gesetze-im-internet.de>. Gelesen am 04.03.2016. Stand 2009.