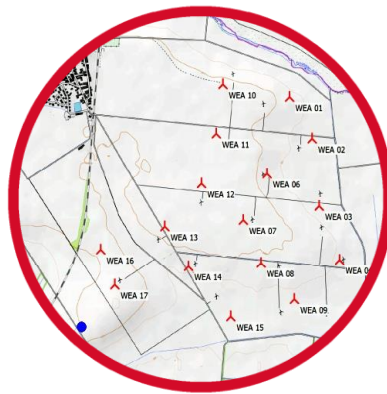


Gutachtliche Stellungnahme zum Eisfall

für einen Windpark bei
Söllingen (Niedersachsen)

Landwind Planung GmbH & Co. KG



November 2021

Gutachtliche Stellungnahme zum Eisfall

Ermittlung für einen Windpark bei
Sölingen (Niedersachsen)

Berichtsnummer: G211029HE1a

Aufgestellt: Gevensleben, im November 2021

Auftragnehmer

SOWIWAS - Energie GmbH
Watenstedter Straße 11
38384 Gevensleben

Tel.: 0 53 54 / 99 06 - 235

Fax: 0 53 54 / 99 06 - 219

E-mail gutachten@sowiwas.de

Internet www.sowiwas.de

Auftraggeber

Landwind Planung GmbH & Co. KG

Watenstedter Str. 11
38384 Gevensleben

E-mail vadim.brandt@landwind-gruppe.de

Internet www.landwind-gruppe.de

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	3
2	EINLEITUNG	4
3	STANDORTBESCHREIBUNG	5
4	GRUNDLAGEN ZUR RISIKOABSCHÄTZUNG	8
4.1	INDIVIDUELLES RISIKO	8
4.2	KOLLEKTIVES RISIKO (GEFÄHRDUNG DES SCHIENENVERKEHRS)	9
5	RISIKOANALYSE	10
5.1	EISWURF UND EISFALL	10
5.1.1	BESTIMMUNG DER EISABWURFWEITEN	11
5.1.2	MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR EISWURF IM BETRIEB	15
6	RISIKOBEWERTUNG	16
6.1	EISWURF UND EISFALL	16
6.1.1	VEREISUNGSPOTENTIAL	16
6.1.2	GEFÄHRDUNGSRADIUS	17
6.1.3	INDIVIDUALRISIKO	17
6.1.4	KOLLEKTIVRISIKO	18
7	MODELL- UND DATENUNSICHERHEITEN	20
8	BEWERTUNG UND EMPFEHLUNGEN	21
9	VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	23
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	23
11	TABELLENVERZEICHNIS	23
12	LITERATURVERZEICHNIS	24

Anhang

Nordex GmbH: Allgemeine Dokumentation: Eisansatz an Windenergieanlagen,
Dok. Nr. NALL01_008528_DE, Rev.6, Juli 2020.

Nordex GmbH: Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex-Windenergieanlagen.
Dokument Nr. K0801_055240_DE, Revision 01 / 26.04.2016

TÜV Nord SysTec GmbH & Co.KG.: Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungs-
systems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen.
Bericht 8111 327 115 Rev.1. 6.3.2019

Fotodokumentation

1 Zusammenfassung

Im Windpark Söllingen werden beim Neubau von Windenergieanlagen (WEA) im Zuge eines Repowering-Maßnahme die Mindestabstände zu Verkehrsflächen (hier die stillgelegte Bahnstrecke Schöppenstedt - Schöningen) bzgl. Eisabwurf - 1,5 mal (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) – bei zwei Anlagen (WEA 16, 17) unterschritten.

Eine Verschiebung der Standorte ist aufgrund der Lage der umliegenden Dörfer und Wohngebäuden rings um die Windparkfläche nicht möglich.

Durch verschiedene Maßnahmen kann die Gefährdung deutlich minimiert werden:

1. Installation eines Systems zur automatischen Erkennung von Eisansatz an den Rotorblättern und Abschaltung der WEA nach Vorgabe des Anlagenherstellers (siehe Anhang).
2. Vor dem Wiederanlaufen der Anlage sollte die Eisfreiheit der Rotorblätter vor Ort durch ein zertifiziertes Eiserkennungssystem (hier System Wölfel, [5]) überwacht werden.
3. Aufstellung von Warnhinweisen (Gefährdung durch Eisfall) an den Zufahrtswegen zum Windpark (siehe Beschilderungsplan im Anhang).

Bei Umsetzung der oben beschriebenen Maßnahmen werden die Anforderungen nach dem Windenergieerlass Niedersachsen erfüllt.

2 Einleitung

Die Landwind Planung GmbH & Co. KG plant südöstlich der Ortschaft Söllingen (Landkreis Helmstedt, Niedersachsen) den Neubau eines Windparks, bestehend aus 17 Anlagen mit 164 m Nabenhöhe. Bei zwei Anlagen wird der erforderliche Mindestabstand $1,5 \times$ (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zur westlich verlaufenden (z.Zt. stillgelegten) Eisenbahnstrecke unterschritten.

Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) 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.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit durch die geplanten Anlagen nicht beeinträchtigt wird. Nach den Vorgaben des Niedersächsischen Windenergieatlasses gelten Abstände größer als $1,5 \times$ (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zu öffentlichen Verkehrswegen als ausreichend. Sofern diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachterliche Stellungnahme erforderlich, um eine Abweichung zu begründen und die Funktionssicherheit von zusätzlichen Einrichtungen (z.B. Rotorblattheizung, automatische Abschaltung bei Eisansatz, Monitoringsysteme zur Eisansatzerkennung) zu gewährleisten.

Bei einer Nabenhöhe der Neuanlagen (Typ Nordex N163) von 164 m und einem Rotordurchmesser von 163 m sind daher auftretende Abstände unter 490,5 m zu Verkehrswegen gesondert zu überprüfen. Betroffen sind die geplanten WEA 16 und 17 östlich der Bahnlinie.

Dazu werden die vorgesehenen technischen Maßnahmen zur Vermeidung von Eisabwurf und Eisabfall beschrieben und bewertet. Ergänzend wird eine Berechnung der Eisabfallwahrscheinlichkeit im Umkreis der WEA erstellt.

3 Standortbeschreibung

Eine Standortbesichtigung am geplanten Anlagenstandort und bei den Vergleichsanlagen in der Umgebung fand am 23.2.2020 durch den Mitarbeiter Herrn Constantin statt. Eine aktuelle Fotodokumentation wurde dabei erstellt und ist im Anhang beigelegt.

Die Windparkfläche befindet sich südöstlich von Sölingen (Landkreis Helmstedt). Weitere Ortschaften in der Umgebung sind Jerxheim im Westen und Ohrleben im Osten. Der Ort Schöningen liegt 6 km nördlich.

Das nähere Umfeld ist durch großräumige landwirtschaftliche Nutzung ohne Hecken und nur vereinzelte Büsche und Baumreihen entlang der Feldwege und Straßen geprägt. Die nächstgelegenen geschlossenen Waldbestände befinden sich im Norden entlang des Höhenzugs Elm ab ca. 5 km Entfernung. In nordwestlicher Richtung liegt in ca. 15 km Entfernung ein schmaler, West-Ost gerichteter bewaldeter Hügelkamm (Asse) und im Südwesten in 14 km Abstand der bewaldete Große Fallstein.

Das Gelände ist im nahen Umfeld leicht hügelig mit typischen Höhen von 80-130 m NN. Im Norden steigt das Gelände zum Elm auf Höhen bis über 300 m NN an. Nach Süden fällt es zum Großen Graben auf ca. 80 m NN ab. Der Höhenzug Asse im Nordwesten weist Höhen um 220-230 m NN auf. Im Südwesten liegt in ca. 8,5 km Abstand der Große Fallstein mit Höhen bis 288 m NN.

Die neuen Standorte befinden sich auf Höhen von 81-105 m ü. NN. Die Bestandsanlagen werden im Rahmen des Vorhabens zurückgebaut. Im südlichen Teil des Windparks sind weitere 3 Anlagen durch eine andere Firma in Planung.

Die folgende Karte zeigt die geplanten WEA und die Abstandskreise (Radius 491 m) um die Standorte, innerhalb derer eine erhöhte Gefährdung vorliegt. Die Länge des betroffenen Schienenbereichs (innerhalb des roten Kreises) beträgt insgesamt ca. 870 m.

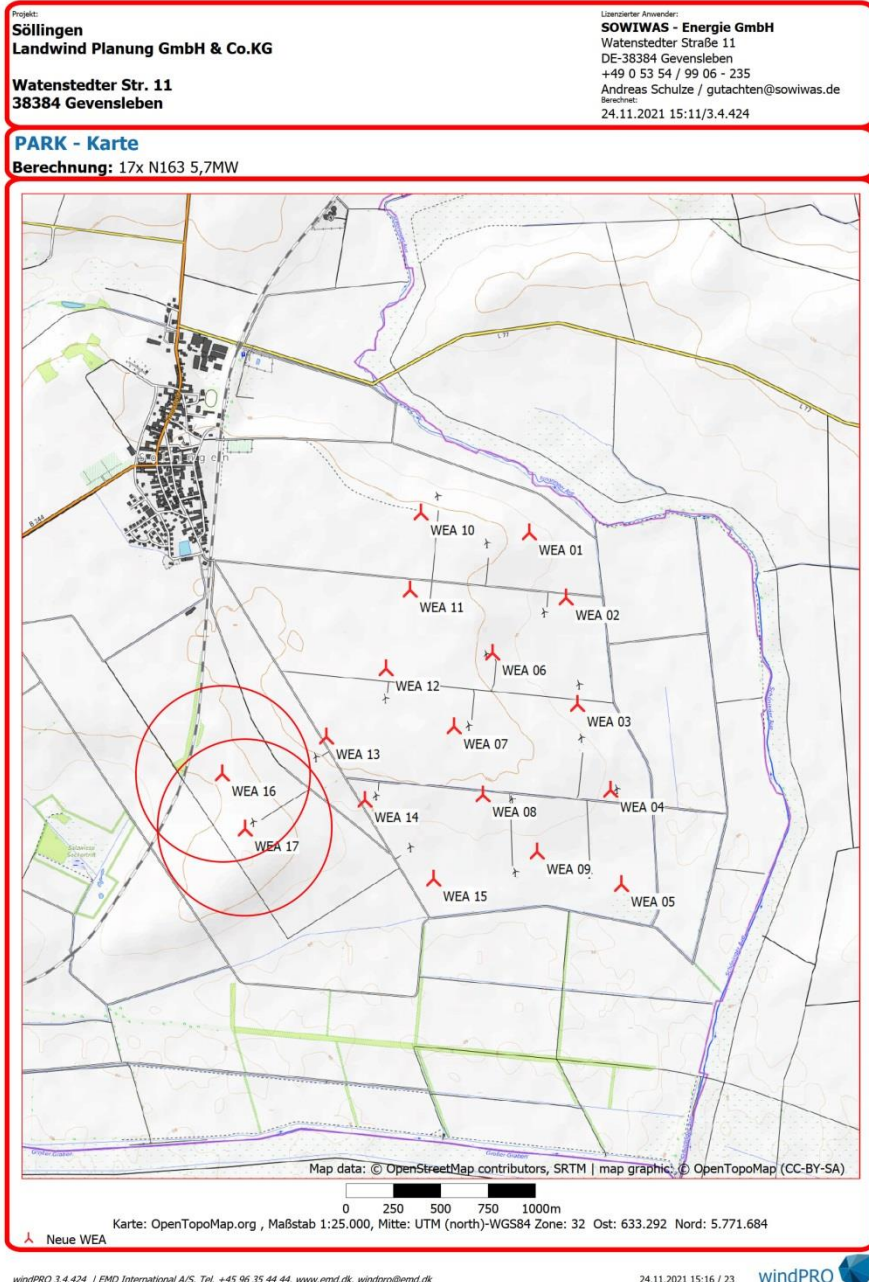


Abbildung.1: Gefährdungsradii rings um die neuen WEA 16 und 17 (schwarz: Bestandsanlagen, die abgebaut werden). Gefährdet ist ein Teilstück der Bahnlinie zwischen Jerxheim und Söllingen.

SOWIWAS – Energie GmbH

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der betroffenen Verkehrswege und der näher betrachteten Windenergieanlagen.

Tabelle 2: Übersicht der betrachteten WEA und des gefährdeten Streckenbereichs.

lfd. Nr	Bezeichnung	Typ	Nabenhöhe (m)	Rotordurch- messer (m)	UTM WGS84 Zone 32	
					Ost	Nord
Neue WEA						
1	WEA 16	Nordex N-163	164,0	163,0	632.226	5.771.246
2	WEA 17	Nordex N-163	164,0	163,0	632.355	5.770.957
Betroffene Verkehrswege						
	Bezeichnung		WEA im Abstand < 491 m		Lage	
E1	Bahnstrecke, Abschnitt Jerxheim – Söllingen, Länge 870 m		Nr. 1, 2		ca. 130 m westlich von Nr.1 ca. 400 m nordwestlich von Nr.2	

4 Grundlagen zur Risikoabschätzung

Für die vorliegende Fragestellung werden verschiedene Quellen zur Ermittlung eines Risikogrenzwertes herangezogen, da es deutschlandweit kein einheitliches Risikoakzeptanzkriterium gibt:

- Prinzip der minimalen endogenen Mortalität (MEM, [1])
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE, [9])
- Statistiken der Schienenverkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes [7]
- Risk Criteria in EU [10]
- Deutsche Störfall Kommission-Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung [11]
- Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen VdTÜV [12]

Erhöht sich das Risiko infolge der betrachteten Gefährdung durch die WEA signifikant, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. In Anlehnung an das MEM Prinzip [1] wird eine Risikoerhöhung um mehr als 10% als signifikant erachtet.

Im Rahmen der Beurteilung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmern im öffentlichen Straßen- und Schienenverkehr werden die Gefährdung der einzelnen Verkehrsteilnehmer und die des Straßen- und Schienenverkehrs in den betroffenen Verkehrsabschnitten berücksichtigt. Für die Bewertung einzelner Verkehrsteilnehmer werden Bewertungsmaßstäbe für das Individualrisiko herangezogen (Kap. 4.1). Zur Beurteilung der Gesamtsituation ist zusätzlich auch die Betrachtung der Gefährdung des Schienenverkehrs nötig. Diese wird mit Hilfe von Schätzungen zur Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen [7, 8] bewertet

4.1 Individuelles Risiko

MEM Prinzip

Das Prinzip der MEM [1] beschreibt das akzeptierte (unvermeidliche) Risiko, durch eine betreffende Technologie zu Tode zu kommen.

Sie wird in der CENELEC-Norm EN 50126 beschrieben und konkretisiert als **0,0002 Todesfälle pro Person und Jahr** (in wirtschaftlich gut entwickelten Ländern). Da jeder Mensch „vielen“ (normiert: 20) technischen Systemen gleichzeitig ausgesetzt ist, wird pro System ein Schwellwert von $1/20 \text{ MEM} = 0,00001 \text{ Tote/Jahr}$ festgesetzt.

Dieser Wert darf von geplanten Neuerungen nicht überschritten werden. Im Gegenteil müssen neue Technologien in aller Regel sicherer sein als alte, da der technische Fortschritt das ermöglicht (ALARP-Prinzip, von englisch *as low as reasonably practicable* [6]).

GBE Statistik

Nach den Unfallstatistiken der GBE [9] und mit der Annahme eines Anstiegs des Risikos um maximal 10% (noch nicht signifikant), erhält man:

- Risiko eines tödlichen Freizeitunfalls $6,0 \cdot 10^{-6}$ (0,000006) je Person und Jahr.

VdTÜV

In [16] wird empfohlen, für Deutschland den in den Niederlanden geltenden Risikogrenzwert von $1,0 \cdot 10^{-6}$ für Neuanlagen zu übernehmen, solange in Deutschland keine rechtlich verbindliche Regelung vorliegt.

Ein Vergleich der drei Ansätze zeigt, dass die Risikoakzeptanzkriterien in einem Bereich von $1,0 \cdot 10^{-6}$ pro Person und Jahr (unterer Grenzwert des Individualrisikos) bis $1,0 \cdot 10^{-5}$ pro Person und Jahr (oberer Grenzwert des Individualrisikos) liegen.

Ein Individualrisiko unterhalb von $1,0 \cdot 10^{-6}$ ist als akzeptabel oder unkritisch zu bewerten. Im Bereich zwischen $1,0 \cdot 10^{-6}$ und $1,0 \cdot 10^{-5}$ ist das Risiko tolerabel. Nach dem ALARP Prinzip [6] sind in diesem Fall jedoch Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich, bzw. zu prüfen.

Ein Individualrisiko oberhalb von $1,0 \cdot 10^{-5}$ gilt als unakzeptabel. In diesem Fall müssen weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung durchgeführt werden.

4.2 Kollektives Risiko (Gefährdung des Schienenverkehrs)

Zur Beurteilung der Gefährdung des Straßen- und Schienenverkehrs durch die WEA wird das allgemein vorliegende Unfallrisiko im Schienenverkehr betrachtet. Dazu werden die aktuellen Statistiken von Unfällen herangezogen (Statistisches Bundesamt [7, 8]). Bei einer signifikanten Risikoerhöhung (größer 10% in Anlehnung an das MEM Prinzip [1]) sind entsprechende Maßnahmen zur Minderung vorzusehen.

Nach [7] gab es in 2018 bei 33.400 km Streckennetz der Bahn in Deutschland 459 Unfälle mit Personenschaden.

Das entspricht einer Unfallhäufigkeit von (gerundet) $1,37 \cdot 10^{-2}$ (0,0137) pro Kilometer und Jahr, bzw. einem Unfall mit Personenschaden alle 73 Jahre.

Die signifikante Risikoschwelle (10%) liegt dann bei $1,37 \cdot 10^{-3}$ je km und Jahr.

Berücksichtigt man die betroffene Streckenlänge der Bahnlinie (insgesamt ca. 870 m) im Gefährdungsbereich der geplanten WEA, erhält man in Anlehnung an das ALERP Prinzip [6] folgende Risikogrenzwerte:

- Obere Grenze: $1,20 \cdot 10^{-3}$ je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit tödlichem oder schwerverletztem Personenschaden alle 836 Jahre;
- Untere Grenze: $1,20 \cdot 10^{-4}$ je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit tödlichem oder schwerverletztem Personenschaden alle 8360 Jahre.

Bezogen auf die Bahnstrecke zwischen Jerxheim und Söllingen ist daher eine Unfallhäufigkeit kleiner als $1,20 \cdot 10^{-4}$ als unkritisch zu bewerten. Ein Unfallrisiko zwischen $1,20 \cdot 10^{-4}$ und $1,20 \cdot 10^{-3}$ ist tolerabel, Maßnahmen zur Risikominderung sind jedoch zu prüfen. Bei einem Unfallrisiko größer als $1,20 \cdot 10^{-3}$ sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

5 Risikoanalyse

5.1 Eiswurf und Eisfall

Die Begriffe Eiswurf und Eisfall werden meist in Zusammenhang mit Windenergieanlagen verwendet und bezeichnen das Abfallen (bei stehender Anlage), bzw. Abwerfen (Abwurf) von Eis von den Rotorblättern. Die Gefahr von herabfallenden Eisstücken bei entsprechender Witterung geht jedoch grundsätzlich von allen hohen Gebäuden und Bauwerken aus.

Bei bestimmten Wetterlagen (insbesondere bei Nebel oder Regen und Temperaturen um den Gefrierpunkt oder darunter) können sich auf den Rotorblättern von Windenergieanlagen Eisschichten bilden, die sich bei Tauwetter oder bei Erreichen einer bestimmten Eisdicke ablösen.

Je nach Betriebszustand der Anlage lassen sich drei Fälle unterscheiden:

1. Die Anlage ist während der Eisbildung in Betrieb, durch die Rotordrehung und die Biegung der Rotorblätter werden Eisstücke in Drehrichtung des Rotors abgeworfen. Dieser Betriebszustand kann durch ein automatisches System zur Erkennung von Eisansatz ausgeschlossen werden.
2. Im Stillstand – insbesondere bei einsetzendem Tauwetter – kann das angesetzte Eis abfallen und durch den vorherrschenden Wind zusätzlich entgegen der Windrichtung verdriftet werden.
3. Beim Wiederanlauf der Anlage nach Stillstand und nicht vollständig abgetauten Rotorblättern werden Eisstücke in Drehrichtung des Rotors abgeworfen.

Rechnerisch sind je nach Windgeschwindigkeit Wurfweiten von mehreren hundert Metern möglich. In der Realität tritt kritischer Eiswurf selten bei hohen Windgeschwindigkeiten auf. Eiswetterlagen sind meist schwachwindig, schon Eisansatz in Millimeterstärke reduziert Auftrieb und Drehzahl des Rotors und das Eis wird in kleinen Stücken bereits durch die auf sie wirkende Zentripetalkraft abgeworfen. Je nach Eisform wirkt der Luftwiderstand begrenzend auf die Wurfweite. Parameter für die Wurfweite sind Drehzahl, Anlagenhöhe, Rotordurchmesser, ablenkende Windgeschwindigkeit quer zur Wurfrichtung und Eisform (Luftwiderstand).

Es wird daher empfohlen, einen Abstand von $1,5 \times$ (Nabenhöhe + Durchmesser) zu den nächsten gefährdeten Objekten einzuhalten [3]. Ist dies nicht möglich, sollte die Anlage in Zeiten möglicher Vereisung automatisch abgeschaltet bleiben, es sei denn, der Wind kommt aus Richtungen, die eine Gefährdung dieser Objekte durch Eisabwurf ausschließen oder eine Vereisung wird durch aktive Beheizung der Blätter verhindert.

Durch eine Gondelverstellung kann das Risiko des Eisfalls im Stillstand auf eine gefährdete Fläche unter einem Abstand von $1,5 \times$ (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zudem minimiert werden.

5.1.1 Bestimmung der Eisabwurfweiten

Die Gefährdung durch Eisabwurf im laufenden Betrieb der WEA wird durch das eingesetzte Eiserkennungssystem weitgehend ausgeschlossen. Die WEA wird bei Eisansatzerkennung automatisch gestoppt. Im Stillstand, bzw. im Trudelbetrieb abfallendes Eis – insbesondere während des Abtauens - kann je nach Windrichtung und Windgeschwindigkeit, sowie Größe und Form der Eisstücke verdriftet werden und damit auch außerhalb der Rotorkreisfläche zum Boden gelangen.

In einer umfangreichen internationalen Studie zum Eisansatz an WEA (*Wind Energy in Cold Climate, WECO Projekt*, [3]) wurde ein Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Verdriftung entwickelt und mit beobachteten Abwurfweiten verifiziert (*H. Seifert 2007*; [4]).

Neben der Windgeschwindigkeit hängt die Verdriftungsweite danach wesentlich von Luftwiderstandsbeiwert c_w des Eises ab. Längliche Eisstücke (typische Längen bis 2 m und Querschnitt 8 cm mal 13,5 cm, die häufig beim Abtauen vereister Rotorblätter auftreten, werden danach bei gleicher Windgeschwindigkeit aufgrund ihres gegenüber kompakten (runden) Eiskörpern höheren c_w Werts deutlich weiter von der WEA verdriftet (nach [5]).

Für die Bestimmung der Auftreffwahrscheinlichkeit im Umfeld der WEA wird daher im Folgenden von großen, länglichen Eisstücken ausgegangen.

Die maximalen Abwurfweiten werden dabei nach folgender Gleichung bestimmt (vgl. in [5]):

$$d_{max} = (v + vr) * (\frac{D}{2} + H) / 15$$

mit

d_{max} : maximale Abwurfweite durch Verdriftung bei stillstehender WEA;

v : Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe;

vr : Geschwindigkeit des Rotorblatts im Trudelbetrieb

D : Rotordurchmesser

H : Nabenhöhe

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe der WEA für verschiedene Windrichtungen und die Verteilung der Häufigkeit der Windrichtungen in einem durchschnittlichen Jahr werden mit Hilfe von benachbarten Wetterstationsdaten (Deutscher Wetterdienst) ermittelt.

Für die Zeiträume mit potenzieller Vereisung wird folgende Verteilung angenommen:

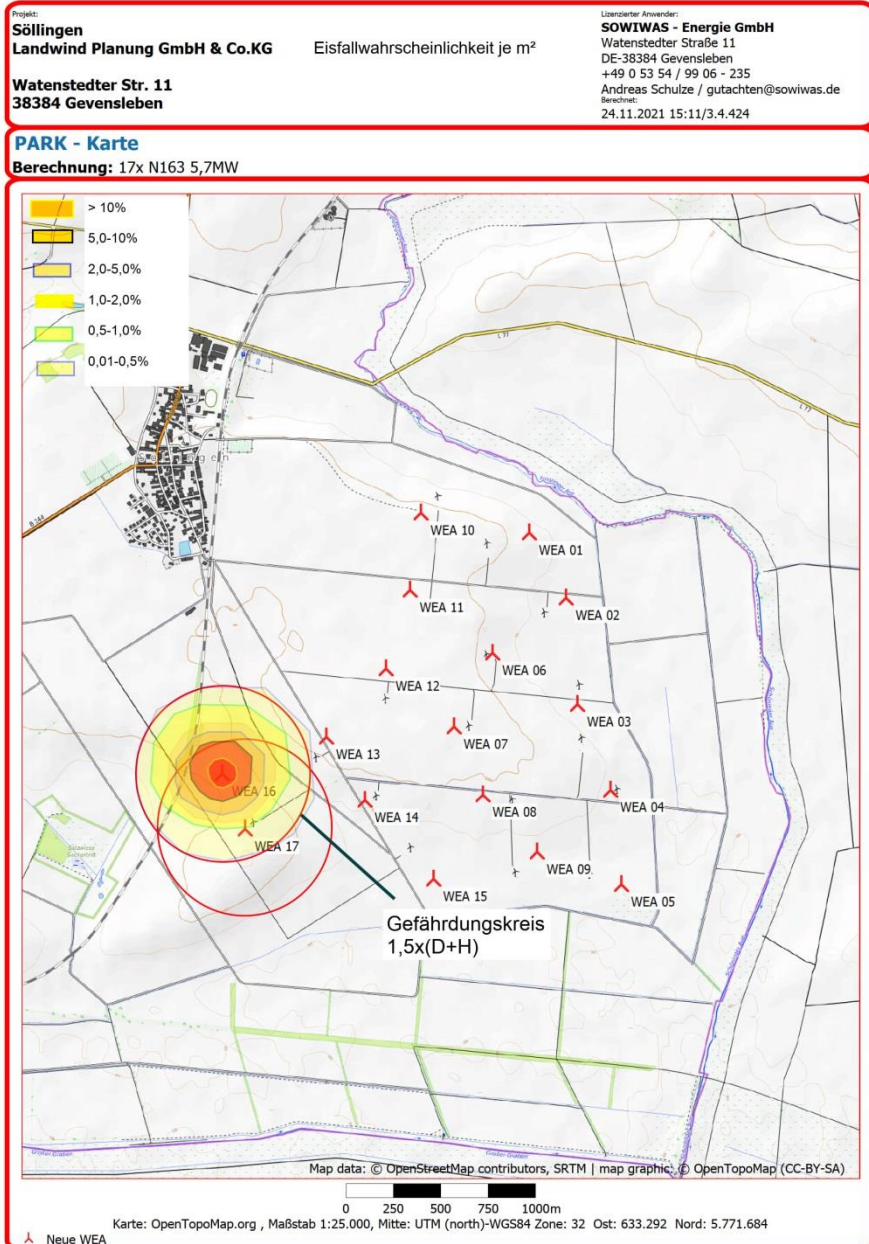
Tabelle 2: Verwendete Windstatistiken im Windpark, langjährige Mittelwerte).

Richtungssektor	Windgeschwindigkeit in 164 m Höhe über Grund (Mittel)	Windrichtung Häufigkeit
	m/s	Prozent
0 (Nord)	5,06	2,7
1	4,88	2,7
2	5,69	4,0
3 (Ost)	6,51	7,1
4	7,73	7,1
5	6,78	8,3
6 (Süd)	5,80	6,2
7	7,14	14,0
8	8,31	17,3
9 (West)	9,20	15,3
10	7,85	10,2
11	6,40	5,1
Mittel windrichtungsgewichtet	7,40	

Aus den Daten und mit Hilfe der o.g. Gleichung kann die Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisstücken im Umkreis der WEA berechnet werden. Die auf der nächsten Seite dargestellte Karte stellt die Auftreffwahrscheinlichkeit für abfallendes Eis in Prozent je Quadratmeter Grundfläche dar.

Wie erwartet, nimmt die Wahrscheinlichkeit rasch mit dem Abstand zum Anlagenmittelpunkt ab. Innerhalb der vom Rotorkreis überstrichenen Fläche (Abstand < 75 m vom WEA Mittelpunkt) sind ca. 60% des abfallendes Eises zu erwarten.

Die größten Abfallweiten sind in nordöstlicher und östlicher Richtung zu erwarten, da die höchsten Windgeschwindigkeiten im langjährigen Mittel bei Südwest bis Westwind auftreten und diese Windrichtungen am häufigsten auftreten (vgl. Tabelle 2).



windPRO 3.4.424 | EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

24.11.2021 15:16 / 23



Abbildung 2a: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von der WEA 16 (rot: Neuplanung, schwarz: derzeitiger Bestand (wird zurückgebaut)). Gefährungskreis rot, Durchmesser 1,5 mal (Durchmesser + Nabenhöhe).

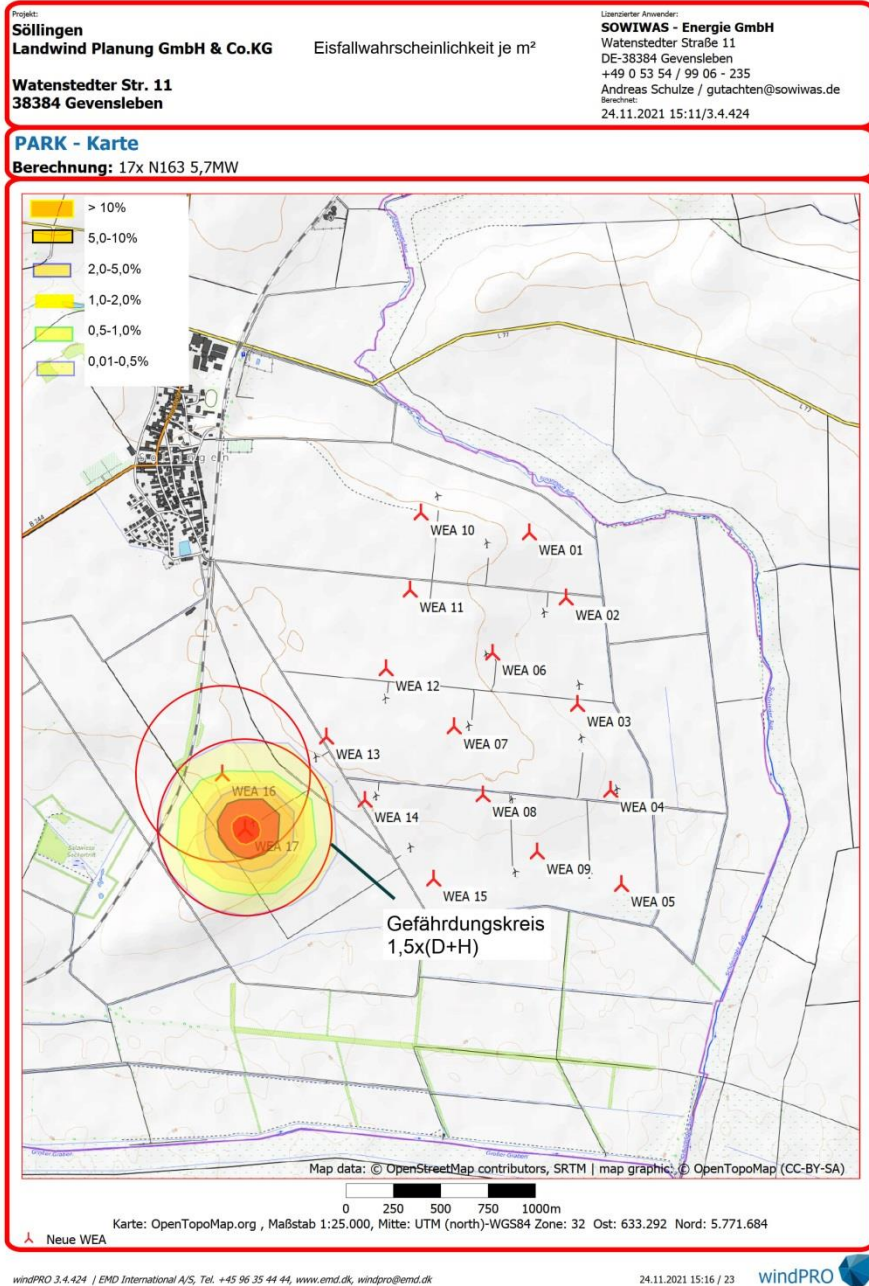


Abbildung 2b: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von der WEA 17 (rot: Neuplanung, schwarz: derzeitiger Bestand (wird zurückgebaut)). Gefährungskreis rot, Durchmesser 1,5 mal (Durchmesser + Nabenhöhe).

5.1.2 Maßnahmen zum Schutz vor Eiswurf im Betrieb

Die WEA ist vom Hersteller mit einem zertifizierten System zur automatischen Erkennung von Eisansatz an den Blättern ausgestattet. Das System wird im Anhang ausführlich beschrieben [2, 5].

Ein Eisansatz wird dabei durch drei unabhängige Systeme erkannt:

1. Detektion von Unwucht und Vibrationen in den Rotorblättern und der Gesamtanlage durch anwachsendes Eis;
2. Feststellung von nicht plausiblen Werten der gemessenen Windgeschwindigkeit und Anlagenleistung, z.B. zu geringe Leistung trotz ausreichend Wind (durch Veränderung der Aerodynamik am Rotorblatt durch Eis). Dazu wird die aktuell gültige Leistungskennlinie der WEA mit den aktuell gemessenen Werten verglichen;
3. Erkennung von unterschiedlichen Messwerten der Windsensoren: Windgeschwindigkeit und Windrichtung werden auf der Anlage zwei unabhängige Systeme - ein Schalenstern-Anemometer und ein Ultraschall Anemometer - gemessen. Beim Schalenstern-Anemometer wird die Lagerung beheizt, an den Schalen selbst kann sich jedoch Eis ansetzen. Dies führt bei Eisansatz zu einer Verringerung der gemessenen Windgeschwindigkeit. Auch das Ultraschall-Anemometer wird beheizt. Es misst jedoch weiterhin die richtige Windgeschwindigkeit, da es keine beweglichen oder unbeheizten Teile besitzt. Größere oder dauerhafte Abweichungen bei den Messwerten deuten auf Eisansatz hin. Ein Wiederanlauf ist erst nach manueller Freigabe durch den Betreiber vor Ort möglich.

Durch die drei voneinander unabhängigen Erkennungssysteme ist eine sichere Detektion von Eisansatz möglich, insbesondere auch beim Wiederanlauf nach Stillstand. Dies wird durch die Zertifizierung des Systems bestätigt [16].

6 Risikobewertung

6.1 Eiswurf und Eisfall

Abfallende Eisstücke aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit können für Verkehrsteilnehmer im Trefferbereich eine ernste Gefahr darstellen. Bei Schienenfahrzeugen ist die Beschädigung der Frontscheibe des Triebwagens, bzw. der Lokomotive relevant bzgl. Eisfall. Aufgrund des Fallwinkels von Eisstücken und der Bewegungsrichtung des Zuges sind die Waggonscheiben nicht gefährdet.

Die betrachteten WEA sind mit einem System zur automatischen Abschaltung bei Eisansatz von drehenden Rotorblättern ausgestattet. Das zertifizierte System ist bei mehreren Anlagenherstellern im Einsatz und hat sich hier in den vergangenen Jahren bewährt.

Im Folgenden wird daher nur die Gefährdung bei Eisfall von stehenden Rotorblättern betrachtet.

6.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis ist abhängig von den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit, die durch das Standortklima und die jeweiligen Witterungsverhältnisse vorgegeben sind. Ferner beeinflussen Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form der Rotorblätter den Vereisungsgrad.

Allgemeingültige Aussagen über das Auftreten von Vereisung können daher nicht gemacht werden. Bevorzugt tritt sie im Gebirge, in Küstennähe, in der Nähe großer Binnengewässer und an Flussläufen auf.

Aufgrund des Druckabfalls an der Hinterseite der Rotorblätter sinkt dort die Lufttemperatur und Vereisung kann bereits bei Außentemperaturen unter ca. 2°C auftreten. Eisabfall von Rotorblättern kann nach jeder Vereisungswetterlage mit anschließendem Tauwetter auftreten. Die abgeschalteten WEA unterscheiden sich dabei nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie z.B. Brücken oder Strommasten.

Für die Standorte bei Gevensleben ist gemäß den Statistiken des Deutschen Wetterdienstes für das ca. 20 km entfernte Braunschweig mit 36 Vereisungstagen (Frosttage mit hoher Luftfeuchtigkeit) im Jahr zu rechnen). Für den Eisfall entscheidend sind die Vereisungsereignisse, die in der Regel aus mehreren zusammenhängenden Vereisungstagen bestehen. Erst am Ende einer Vereisungsperiode (bei Tauwetter) tritt Eisfall auf. Die 36 Vereisungstage in Braunschweig lassen sich in rund zehn durchgehende Vereisungsereignisse aufteilen.

Da die Wintertemperaturen der letzten Jahre angestiegen sind und aufgrund des Klimawandels weiter ansteigen, ist zukünftig mit einer geringeren Zahl von Vereisungstagen zu rechnen.

Zusätzlich zu den Vereisungsereignissen muss die Anzahl der möglichen Eisfallereignisse je Vereisung bekannt sein. Hierzu werden Daten einer Fallstudie eines Schweizer Forschungsprojekts (Alpine Test Site Gütsch) verwendet [13]. Dabei wurden die abgefallenen und abgeworfenen Eisobjekte

bei einer WEA mit 44 m Rotordurchmesser (Enercon E-40 6.44) statistisch über einen Zeitraum von vier Jahren erfasst. Insgesamt wurden 250 Eisobjekte bei einer Vereisungshäufigkeit von 10-30 Tagen pro Jahr erfasst. Damit lässt sich die Anzahl von Eisobjekten pro Vereisung abschätzen zu:

250 / 4 Jahre / 10 Vereisungen pro Jahr oder 6-7 Eisobjekte pro Vereisung.

Nimmt man an, dass ein Teil der Eisobjekte (ca. 1/3) nicht gefunden wurde, lässt sich konservativ ein Wert von 10 Eisobjekten je Vereisung annehmen. Zur Übertragung der Ergebnisse der Feldstudie auf andere Typen von WEA muss der unterschiedliche Rotordurchmesser berücksichtigt werden. Die gebildete Eismenge bei drehendem Rotor ist in erster Näherung proportional zur Rotorfläche und damit zum Quadrat des Rotordurchmessers. Das Verhältnis der Rotorflächen Nordex 163 zu Enercon E-40 6.44 beträgt 13,7. D.h. für die N163 ist mit $13,7 \times 10 = 137$ Eisobjekten je Vereisung zu rechnen.

Auf das Jahr umgerechnet erhält man damit $137 \text{ Eisobjekte} \times 9,8 \text{ Vereisungsereignisse} = 1.345 \text{ Eisabfall Ereignisse pro WEA und Jahr}$.

6.1.2 Gefährdungsradius

Die maximale Fallweite von Eisstücken bestimmt den Gefährdungsradius rings um die Windenergieanlage. Bei einer Windgeschwindigkeit von 25 m/s (das 99,9% Quantil der Häufigkeitsverteilung in Nabenhöhe 164 m) beträgt die Fallweite ca. 410 m (für flache, flächige Eisobjekte mit maximalen Fallweiten).

Innerhalb dieses Abstands rings um die WEA 16 und 17 verläuft die Bahnlinie Wolfenbüttel - Schöningen zwischen den Haltepunkten Jerxheim und Söllingen (vgl. Abb.2).

6.1.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 2 (Gefährdungsflächen bei Eisabfall) dargestellten Trefferhäufigkeiten kann das Risiko eines Unfalls auf dem Weg ermittelt werden. Dabei wird konservativ eine durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit von 50 km/h angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht).

Trifft der Eisabfall zeitlich und örtlich mit dem zu betrachtenden Schienenfahrzeug überein, besteht eine Gefährdung des Verkehrs:

Es gilt folgender Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{vj} * h_{Ev} * h_{Tej} * A_T * P_{VA} * P_{Aj}$$

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

Mit

H_{Tj} Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr;

H_T Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr;

h_{vj} Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (9,8 Vereisungsereignisse);

- h_{Ev} Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (137 für den Anlagentyp N163);
 h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall;
 A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Fläche der Frontscheibe ca. 4 m² (konservative Annahme, da nicht jeder Treffer die Scheibe durchschlägt und einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat).
 P_{VA} Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit an einem Vereisungstag. Beispiel Anwohner oder Pendler, der die Strecke einmal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg). $P_{VA} = (225 * 2) / 365$
 P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbereich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f} \right) / 24$; l_j : Länge des Gefährdungsbereichs (870 m, $v_f = 50 \text{ km/h}$)

Damit erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Individualrisiko). Dabei wird konservativ angenommen, dass jeder Treffer der Windschutzscheibe einen Unfall mit Personenschaden zur Folge hat.

Tabelle 3: Individualrisiko pro Jahr bei Eisabfall

Verkehrsweg	WEA	Treffer bei 50 km/h
E1: Bahnlinie Jerxheim Söllingen	Nr. 1	$9,83 \cdot 10^{-6}$
E1: Bahnlinie Jerxheim Söllingen	Nr. 2	$2,39 \cdot 10^{-10}$
Summe	Nr.1-2	$9,83 \cdot 10^{-6}$

Ein Individualrisiko von $9,83 \cdot 10^{-6}$ bei E1 bedeutet im Mittel alle 102.000 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Eisabfall. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

6.1.4 Kollektivrisiko

Das Kollektivrisiko berechnet sich nach den Randbedingungen für das Individualrisiko und nach der geschätzten Verkehrsdichte auf dem Weg. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{vj} * h_{Ev} * h_{Tej} * A_T * h_{aVT} * P_{Aj}$$

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

Mit

- H_{Tj} Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr;
 H_T Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr;
 h_{vj} Häufigkeit der Vereisung pro Jahr;
 h_{Ev} Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung
 h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall;
 A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Fläche der Frontscheibe ca. 4 m² (konservative Annahme, da nicht jeder Treffer die Scheibe durchschlägt und einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat).
 h_{aVT} Verkehrsdichte: 24 Züge pro Tag (beide Richtungen), ca. 2.000 Fahrgäste pro Tag (maximal geschätzt).

P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbereich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f} \right) / 24$; l_j : Länge des Gefährdungsbereichs (870 m), $v_f = 50 \text{ km/h}$

Damit erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Kollektivrisiko). Dabei wird konservativ angenommen, dass jeder Treffer der Windschutzscheibe einen Unfall mit Personenschaden zur Folge hat.

Tabelle 4: Kollektivrisiko pro Jahr bei Eisabfall

Verkehrsweg	WEA	Treffer bei 50 km/h
E1: Bahnlinie Jerxheim Söllingen	Nr. 1	$1,91 \cdot 10^{-4}$
E1: Bahnlinie Jerxheim Söllingen	Nr. 2	$4,64 \cdot 10^{-9}$
Summe	Nr.1-2	$1,91 \cdot 10^{-4}$

Das ermittelte Kollektivrisiko von $1,91 \cdot 10^{-4}$ bei E1 bedeutet, dass sich im Mittel alle 5230 Jahre ein schwerer Unfall durch Eisabfall ereignet. Eine Aussage zum Zeitpunkt lässt sich daraus nicht ableiten.

7 Modell- und Datenunsicherheiten

Die Risikoanalyse verwendet vereinfachte Annahmen und Randbedingungen, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten und den Analyseaufwand zu begrenzen.

Sämtliche Annahmen und Randbedingungen sind dabei konservativ gewählt.

Modellrechnungen erfassen die Realität lediglich annähernd, sie können daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung dienen. Die ermittelten Risikowahrscheinlichkeiten gelten nur unter den genannten Randbedingungen. Insbesondere die Abgrenzung der Gefährdungsbereiche im Ereignisfall ist in der Realität nicht so scharf, wie hier dargestellt. Das gilt in besonderem Maße für das Brandrisiko und das Risiko des Bauteilversagens.

Die dargestellten Ergebnisse dienen der Orientierung.

8 Bewertung und Empfehlungen

Die nachstehende Tabelle fasst die errechneten Unfallwahrscheinlichkeiten an öffentlichen Verkehrswegen bei Eisfall zusammen:

Tabelle 5: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA REP 1 und REP 2.

Risiko Unfall	Eisfall	obere Risikoschwelle
E1: Bahnlinie Jerxheim Söllingen		
Summe Individualrisiko	$9,83 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$
Summe Kollektivrisiko	$1,91 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$

Nur die WEA 16 trägt signifikant zum Risiko bei. Das Individualrisiko liegt im tolerablen Bereich zwischen $1,00 \cdot 10^{-6}$ und $1,00 \cdot 10^{-5}$. Das Kollektivrisiko liegt im tolerablen Bereich zwischen $1,20 \cdot 10^{-4}$ und $1,20 \cdot 10^{-3}$.

Nach dem ALARP Prinzip [6] sollten Maßnahmen zur Risikominderung geprüft werden. Empfohlen wird die Installation des Eiserkennungssystems der Fa. Wülfel an den WEA 16 und 17 (Nr.1, 2), welches im Anhang näher beschrieben ist ([5], Nordex Eiserkennungssystem). Für das System liegen eine Zertifizierung und ein Untersuchungsbericht des TÜV Nord vor (siehe Anhang).

Zur Risikominimierung auf den Feld- und Fußwegen innerhalb des Windparks wird die Aufstellung von Warnhinweisen an den Zugängen empfohlen.

Die vorstehenden Angaben sind unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen ermittelt worden. Schadensersatzansprüche sind ausgeschlossen. Abschriften und Auszüge dürfen ohne Genehmigung des Verfassers nur vom Auftraggeber erstellt werden, um am beschriebenen Standort das Projekt zu realisieren.

SOWIWAS - Energie GmbH

Energie aus Sonne, Wind, Wasser und mehr

Watenstedter Straße 11

3 8 3 8 4 G e v e n s l e b e n

Telefon: 05354 - 99 06.235

Telefax: 05354 - 99 06.219

Internet: www.sowiwas.de

E-mail: gutachten@sowiwas.de

Gevensleben, den 28. November 2021

(Dr. Jost Constantin)

Peter Peters

(Teamleiter Zertifizierung u. Gutachten)

9 Verwendete Abkürzungen

IEC:	International Electrotechnical Commission
Rev.	Revision
TR:	Technische Richtlinie
ü.Gr.	über Grund
ü NN:	über Normal Null
WEA:	Windenergieanlage

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersichtskarte der Standorte mit Gefährdungsradien (1,5 x D+H).

Abbildung 2: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten der WEA 16 (2a) und 17 (2b).

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Windstatistiken im Windpark Söllingen.

Tabelle 2: Übersicht der WEA und der gefährdeten Wegebereiche

Tabelle 3: Individualrisiko pro Jahr bei Eisabfall

Tabelle 4: Kollektivrisiko pro Jahr bei Eisabfall

Tabelle 5: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA 16 und 17

12 Literaturverzeichnis

- (1) https://de.wikipedia.org/wiki/Minimale_endogene_Mortalität, Abruf vom 22.2.2019
- (2) Nordex GmbH: Allgemeine Dokumentation: Eisansatz an Windenergieanlagen, Dok. Nr. NALL01_008528_DE, Rev.5, Mai 2019.
- (3) Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. Ergebnisse und Empfehlungen aus einem EU – Forschungsprojekt. H. Seifert, Deutsches Windenergie – Institut GmbH, Wilhelmshaven, Deutschland. Oktober 1999
- (4) Wind Energy in Cold Climate, WECO. Seifert, Henry; Tammelin, Bengt: Icing of wind turbines: Final report; Jou2-CT93-03B66 /Deutsches Windenergie-Institut, Wilhelmshaven (Herausgeber); Finnish Meteorological Institute, Helsinki. Wilhelmshaven: DEWI, 1997.
- (5) Nordex GmbH: Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex-Windenergieanlagen. Dokument Nr. K0801_055240_DE, Revision 01 / 26.04.2016
- (6) <https://de.wikipedia.org/wiki/ALARP>, Abruf vom 22.2.1019
- (7) Verkehrsunfälle: Eisenbahnverkehr;
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/eisenbahnunfaelle.html>
Abgerufen am 24.2.2021.
- (8) <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/sicherheit/unfallrisiko-im-vergleich/>.
Abgerufen am 24.2.2021
- (9) Trbojevic V.M. Risk Criteria in EU, ESREL 2005. 27-30 June 2005
- (10) Störfall Kommission. Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41, 2004
- (11) Hauptmanns, U., Marx, M. : Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen, Verlag VdTÜV-Band 16, 2010
- (12) 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.
- (13) WKA Störfallregister.
<http://mrandreasmarciniak.blogspot.com/2016/08/liste-von-unfallen-windkraftanlagen-in.html>. Abruf vom 10.2.2020
- (14) WKA Störfallregister. <https://www.vernunftkraft.de/unfaelle-mit-windkraftanlagen/>. Abruf vom 10.2.2020
- (15) Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen. Bericht 8111 327 115 Rev.1. TÜV Nord SysTec GmbH & Co.KG. 6.3.2019

Anhang

Nordex GmbH: Allgemeine Dokumentation: Eisansatz an Windenergieanlagen,
Dok. Nr. NALL01_008528_DE, Rev.6, Juli 2020.

Nordex GmbH: Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex-Windenergieanlagen.
Dokument Nr. K0801_055240_DE, Revision 01 / 26.04.2016

TÜV Nord SysTec GmbH & Co.KG.: Bewertung der Funktionalität eines Eiserken-
nungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen.
Bericht 8111 327 115 Rev.1. 6.3.2019

Fotodokumentation

Allgemeine Dokumentation

Eiserkennung an Nordex- Windenergieanlagen

Rev. 06/01.07.2020

Dokumentennr.:	NALL01_008528
Status:	Released
Sprache:	DE-Deutsch
Vertraulichkeit:	Nordex Internal Purpose

- Originaldokument -

Dokument wird elektronisch verteilt.

Original mit Unterschriften bei Nordex Energy GmbH, Department Engineering.

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung des Dokuments im Ganzen oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy GmbH. Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Mitarbeiter und Mitarbeiter von Partner- und Subunternehmen der Nordex Energy GmbH, der Nordex SE und ihrer im Sinne der §§15ff AktG verbundenen Unternehmen bestimmt und dürfen nicht (auch nicht in Auszügen) an Dritte weitergegeben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

Jegliche Weitergabe, Vervielfältigung, Übersetzung oder sonstige Verwendung dieses Dokuments oder von Teilen desselben, gleich ob in gedruckter, handschriftlicher, elektronischer oder sonstiger Form, ohne ausdrückliche Zustimmung durch die Nordex Energy GmbH ist untersagt.

© 2020 Nordex Energy GmbH, Hamburg

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie:

Nordex Energy GmbH

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg

Deutschland

Tel: +49 (0)40 300 30 - 1000

Fax: +49 (0)40 300 30 - 1101

info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

Gültigkeit

Anlagengeneration	Produktreihe	Produkt
Gamma	K08 Gamma	N90/2500, N100/2500, N117/2400,
Delta	K08 Delta	N100/3300, N117/3000, N117/3000 controlled, N117/3600, N131/3000, N131/3000 controlled, N131/3300, N131/3600, N131/3900,
Delta	Delta4000	N133/4.8, N149/4.0-4.5, N149/5.X, N163/5.X

Inhalt

- 1. **Zweck dieses Dokumentes 5**
- 2. **Stoppen der WEA bei Eisansatz – warum?..... 6**
- 3. **Möglichkeiten der Eiserkennung in Betriebsführung und Sensorik 7**
- 4. **Bei Eisansatz 8**

1. Zweck dieses Dokumentes

Dieses Dokument beschreibt die Grundlagen und Möglichkeiten der Eiserkennung sowie die zu ergreifenden Maßnahmen und Verpflichtungen.

Zudem beschreibt es wie sich eine Nordex-Windenergieanlage verhält, wenn die Wetterbedingungen Eisansatz erwarten lassen, und welche Detektionsmöglichkeiten es gibt.

2. Stoppen der WEA bei Eisansatz – warum?

Objekte, deren Entfernung von der Windenergieanlage (WEA) geringer ist als 1,5 mal der Summe von Nabenhöhe und Rotordurchmesser, können durch von den Rotorblättern weggeschleudertes Eis, das sich durch Fliehkräfte gelöst hat, gefährdet werden. Dieses sich lösende Eis kann zudem entsprechend der Windrichtung und Windgeschwindigkeit abgetrieben werden.

Grundsätzlich hat der Betreiber bei entsprechenden Wetterlagen (insbesondere Glatteis, Nebel bei Frost) den Zustand der WEA zu überwachen. Sofern sich Objekte, z. B. Straßen, in einer geringeren Entfernung von der WEA befinden als vorstehend beschrieben, muss die WEA gestoppt werden bzw. ein Wiederanlauf ist zu verhindern (GL-Richtlinie). Ein entsprechender Hinweis ist in der Betriebsanleitung enthalten. Es sind durch den Betreiber der Anlage Hinweisschilder „Achtung Eisabwurf“ im Umkreis von 300 m um die Anlage aufzustellen.

3. **Möglichkeiten der Eiserkennung in Betriebsführung und Sensorik**

Jede WEA kann Eisansatz anhand der Standard-Sensorik indirekt erkennen. Dazu gibt es drei unterschiedliche und voneinander unabhängige Erkennungsmöglichkeiten:

- Erkennung von Unwuchten und Vibrationen

Eisansatz an den Rotorblättern findet in der Regel ungleichmäßig bzw. unsymmetrisch statt. Diese entstehenden Gewichtsunterschiede auf den Rotorblättern führen bei der Drehbewegung des Rotors zu einer Unwucht im Antriebsstrang. Diese Unwucht wirkt auch auf Maschinenhaus und Turm. Die daraus resultierenden Vibrationen werden über die standardmäßig installierten und dauerhaft arbeitenden Schwingungssensoren erkannt.

- Erkennung von nicht plausiblen Betriebsparametern

Im Betrieb der WEA werden kontinuierlich alle wichtigen Betriebsparameter aufgezeichnet. Die Werte für Windgeschwindigkeit und Leistung werden mit den Soll-Werten aus der Steuerung verglichen.

Bei Eisansatz verändert sich sehr schnell das aerodynamische Profil der Rotorblätter. Es kommt zu einer Abweichung zwischen Soll- und Ist-Leistung. Die Abweichung darf definierte Grenzen nicht überschreiten.

Diese Erkennungsmöglichkeit ist auch dann wirksam, wenn der Eisansatz gleichmäßig bzw. symmetrisch auftritt, wenn also keine Unwucht erkannt werden kann.

- Erkennung von unterschiedlichen Messwerten der Windsensoren

Auf Nordex-Windenergieanlagen werden Windgeschwindigkeit und Windrichtung in der Regel durch je ein Schalenstern-Anemometer und ein Ultraschall-Anemometer gemessen. Beim Schalenstern-Anemometer wird die Lagerung beheizt, an den Schalen selbst kann sich jedoch Eis ansetzen. Dies führt bei Eisansatz zu einer Verringerung der gemessenen Windgeschwindigkeit.

Auch das Ultraschall-Anemometer wird beheizt. Es misst jedoch weiterhin die richtige Windgeschwindigkeit, da es keine beweglichen oder unbeheizten Teile besitzt. Die Messwerte der beiden Anemometer werden ständig miteinander verglichen. Größere oder dauerhafte Abweichungen bei den Messwerten deuten auf Eisansatz hin.

Bei einem Auftreten der ersten beiden Zustände wird die WEA gestoppt. Bei dem dritten Zustand kann die WEA automatisch gestoppt werden. Der entsprechende Fehler wird immer an die Nordex-Fernüberwachung gemeldet.

4. Bei Eisansatz

Die WEA reagiert auf möglichen Eisansatz mit definierten Maßnahmen:

- Die WEA wird sofort sanft gestoppt.
- Jeder Stopp einer WEA wird automatisch an die Fernüberwachung gemeldet. Die Fehlermeldung beinhaltet u. a. den Grund des Fehlers.
- Bei allen Fehlerzuständen ist gesichert, dass die WEA nicht selbständig wieder anläuft. So ist ein Wegschleudern von Eis ausgeschlossen.
- Alle Ereignisse der WEA (z. B. Stopp und Wiederanlauf) werden im Logbuch in der Steuerung erfasst. Das Logbuch steht zu späterem Nachweis zur Verfügung.

Im Stillstand entsprechen die von der WEA ausgehenden Gefahren durch herabfallendes Eis denen, die von beliebigen anderen Bauwerken, Gebäuden oder Bäumen ebenfalls ausgehen. Ein Wegschleudern von Eisstücken ist durch die Stillsetzung der WEA ausgeschlossen. Zur Warnung vor eventuell herabfallenden Eisstücken sind Aufkleber oder Warnschilder geeignet, die an bzw. in der Nähe der WEA angebracht werden können.

Vertriebsdokument

Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex- Windenergieanlagen

**Gültig für Nordex K08-Anlagen
Generation gamma und delta**

K0801_055240_DE

Revision 01 / 26.04.2016

- Originalvertriebsdokument -

Dokument wird elektronisch verteilt.

Original mit Unterschriften bei Nordex Energy GmbH, Engineering.

Technische Änderungen

Dieses Dokument wurde mit größter Sorgfalt und unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Normen angefertigt.

Trotzdem können durch stetige Weiterentwicklungen Abbildungen, Funktionsschritte und technische Daten geringfügig abweichen.

Copyright

Copyright 2016 by Nordex Energy GmbH.

Dieses Dokument, einschließlich seiner Darstellung und seines Inhalts ist geistiges Eigentum der Nordex Energy GmbH.

Jegliche Weitergabe, Vervielfältigung oder Übersetzung dieses Dokuments oder Teilen davon in gedruckter, handschriftlicher oder elektronischer Form ohne ausdrückliche Zustimmung durch die Nordex Energy GmbH sind ausdrücklich untersagt.

Alle Rechte vorbehalten.

Kontakt

Bei Fragen zu dieser Dokumentation wenden Sie sich bitte an:

Nordex Energy GmbH

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg

Germany

<http://www.nordex-online.com>

info@nordex-online.com

1. Einführung

Zur Erfüllung behördlicher Auflagen kann ein Eisdetektionssystem für Nordex-Windenergieanlagen (WEA) der Typen gamma und delta eingesetzt werden. Dieses erkennt auch im Stillstand der WEA, ob Eisansatz auf dem Rotorblatt vorhanden ist oder nicht. So erfolgt eine Alarmmeldung und Abschaltung der WEA nur, solange sich tatsächlich gefährliches Eis auf den Rotorblättern befindet.

2. Systembeschreibung

2.1 Funktionsprinzip

Das Rotorblatt-Eiserkennungssystem ist ein System zur Erfassung und Analyse von Meßdaten, mit denen Eisansatz an den Rotorblättern der WEA erkannt werden kann. Die Funktionsweise beruht auf der Messung von Beschleunigung und Temperatur im Innern aller Rotorblätter einer WEA. Grundsätzlich erkennt das Eisdetektionssystem Massenveränderungen am Rotorblatt durch Eis, weil dadurch die Eigenfrequenz der Rotorblätter verändert wird.

2.2 Systemübersicht

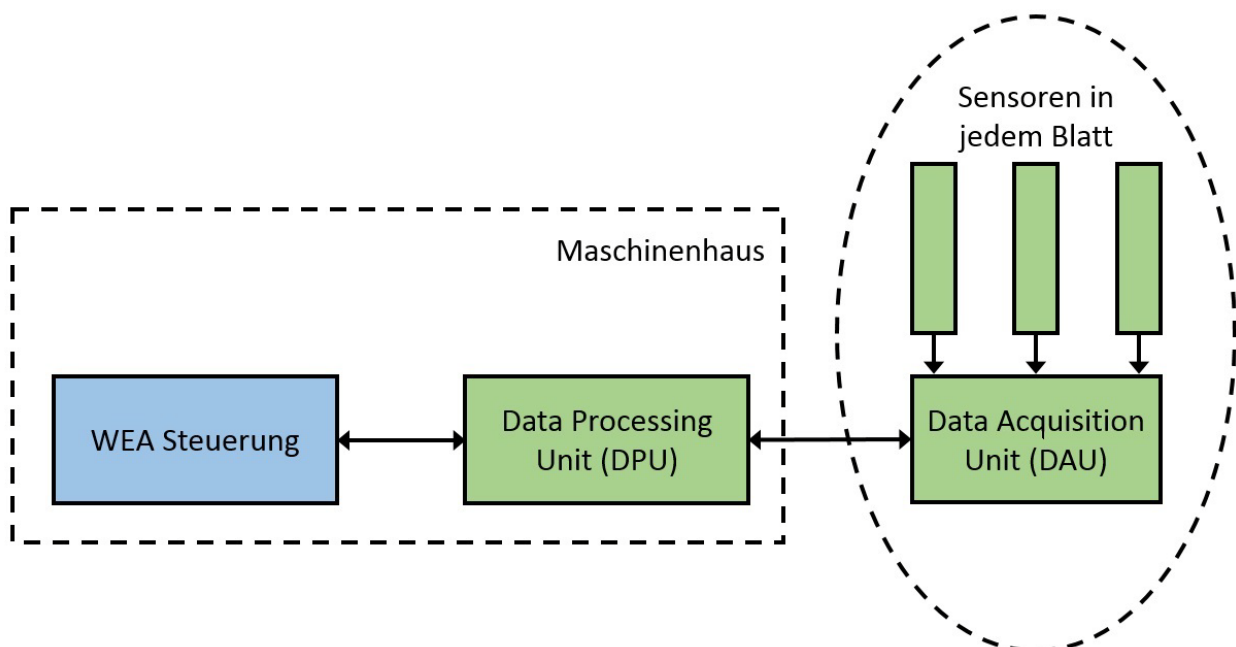


Abb. 1 Schematische Darstellung des in der Nordex-WEA integrierten Rotorblatt-Eisdetektionssystems

2.3 Funktionen

Eiserkennung

- fortlaufende Bestimmung des Vereisungszustandes der Rotorblätter bei mindestens 2,5 m/s Windgeschwindigkeit
 - im Teillastbetrieb oder
 - im Nennlastbetrieb oder
 - im Trudelbetrieb oder
 - bei WEA-Stillstand (ohne aktive Bremse oder Rotor-Lock)
- Eisansatz-Alarm beim Überschreiten des Alarmschwellenwertes und automatisches Abschalten der WEA
- Rücksetzen des Eisansatzalarms zum automatischen Wiedereinschalten der WEA, wenn kein gefährlicher Eisansatz mehr vorhanden ist oder alternativ manuelle Rücksetzung vor Ort oder im Fernzugriff parametrierbar

Systemfunktionen

- permanente Überwachung der Systemfunktionen und -komponenten
- Systemmeldungen, die einen sicheren Zustand der WEA gewährleisten
- unter bestimmten Umgebungsbedingungen kann das Anlaufen bzw. der Betrieb der Anlage um einige Minuten verzögert/unterbrochen werden

3. Liefer- und Leistungsumfang

Die folgenden Bauteile und Leistungen sind in der Option Rotorblatt-Eisdetektion enthalten:

- Sensoren für drei Rotorblätter
- eine Datenerfassungseinheit (Data Acquisition Unit - DAU)
- eine Datenverarbeitungseinheit (Data Processing Unit - DPU)
- Installation und Inbetriebnahme des Systems

4. Technische Daten des Gesamtsystems

Gesamtsystem	
Stromversorgung	100 ...240 V AC/ 45 ... 65 Hz, 24 V DC
Leistungsaufnahme	ca. 150 W

Gesamtsystem	
Betriebstemperaturbereich Normal Climate Version (NCV)	-20 °C bis +50 °C
Betriebstemperaturbereich Cold Climate Version (CCV)	-40 °C bis +50 °C
Blitz- und Überspannungsschutz	nach IEC 61400-24
EMV Störfestigkeit	entsprechend IEC 61000-6-2
EMV Störaussendung	entsprechend IEC 61000-6-2

5. Zertifikate und Konformität

CE-Konformität	- 2006/95/EG Niederspannungsrichtlinie - 2004/108/EG EMV-Richtlinie - 1999/5/EG Richtlinie für Funkanlagen und Telekommunikationsendeeinrichtungen - DIN EN 61439-1,-2 Niederspannungsschaltgeräte-Kombinationen
Hersteller Produkt-Zertifizierung	System "IDD.Blade" entspricht der GL-Richtlinie "Guideline for Condition Monitoring Systems of Wind Turbines" Edition 2013 vom Germanischen Lloyd
Gutachten TÜV NORD	"Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an Nordex Windenergieanlagen"

Nordex Energy GmbH
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany
<http://www.nordex-online.com>
info@nordex-online.com

Zusammenfassung des Gutachtens

Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen

TÜV NORD Bericht Nr.: 8111 327 215 Rev.1

Gegenstand der Prüfung: Untersuchung der Funktionalität und Zuverlässigkeit des in NORDEX Windenergieanlagen installierten Eiserkennungssystems IDD.Blade der Firma Wölfel

Anlagenhersteller: NORDEX Energy GmbH
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany

Aufsteller der Nachweise: TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg
Germany

Diese Zusammenfassung umfasst 4 Seiten.

Rev.	Datum	Änderungen
0	13.10.2014	Erste Fassung
1	06.03.2019	Aktualisierung des Ursprungsgutachtens, redaktionelle Änderungen

1 Einführung

Die Rotorblätter von Windenergieanlagen, die in Regionen mit Temperaturen unter 3°C aufgestellt werden, können bei ungünstigen Bedingungen Eis ansammeln. Aus der dann entstehenden Eisschicht können sich durch Abtauen oder Blattverformung Eisbrocken ablösen, die im Betrieb der Anlage vom Rotorblatt abgeworfen werden (Eisabwurf) und zu Personen- oder Sachschäden im Wurfbereich der Anlage führen können. Ab einer bestimmten Masse und Geschwindigkeit der abgeworfenen Brocken besteht damit eine zu beachtende Gefahr. Durch die Integration von Eiserkennungssystemen, die bei Vereisung der Anlage für eine Abschaltung sorgen soll diese Gefahr verhindert werden.

2 Systembeschreibung

Das Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel ist ein System zur Erfassung und Analyse von Messdaten, mit dem Eisansatz an Rotorblättern von WEA erkannt werden kann. Grundsätzlich detektiert IDD.Blade durch Vereisung verursachte Zustandsveränderungen, die das strukturdynamische Verhalten eines Rotorblattes über ein spezifisches Mindestmaß hinaus beeinflussen. Es beruht auf dem physikalischen Grundprinzip, dass messbare, bauteilcharakteristische Kennwerte wie die Eigenfrequenz eines Rotorblatts von einer Änderung der Bauteilsteifigkeit oder der Bauteilmasse, beispielsweise durch Eisansatz, beeinflusst werden.

Um die Veränderungen der bauteilcharakteristischen Kennwerte zu detektieren, werden beim Eiserkennungssystem IDD.Blade Beschleunigungen direkt in den Rotorblättern einer WEA erfasst und ausgewertet. Die Messung erfolgt mit sogenannten *Structural Noise Sensoren* (SNS), die neben den Beschleunigungen auch die aktuelle Bauteiltemperatur zur Verfügung stellen. Die Datenerfassung und Auswertung erfolgt kontinuierlich.

Nach erfolgreicher Referenzierung des Eiserkennungssystems, bei der ein Vergleich zwischen Blattzuständen mit fest hinterlegten Referenzzuständen durchgeführt wird, werden im laufenden Betrieb Zustandsindikatoren bereitgestellt, anhand derer eine Beurteilung über den aktuellen Vereisungszustand der Rotorblätter vorgenommen werden kann.

Durch die Vorgabe von zwei Schwellwerten ist es möglich, automatische Warn- und Alarmmeldungen (Ampelfunktion grün, gelb, rot) zu generieren. Die Bestimmung der Schwellwerte selbst erfolgt mit statistischen Methoden im Rahmen eines Prototypentests sowie ggf. mit weiteren numerischen Untersuchungen im Rahmen der rotorblatt- und anlagenspezifischen Anpassung (Referenzierungsphase) und kann bei Bedarf kunden- bzw. standortspezifisch angepasst werden.

Auf Basis des ampelbasierten Alarmkonzeptes ist eine aktive Beeinflussung der WEA-Steuerung möglich. Im Falle von Vereisungen kann die WEA automatisch gestoppt bzw. nach Abtauen wieder gestartet werden.

Es gibt Betriebszustände, bei denen die Bereitstellung von Zustandsindikatoren nicht möglich ist. Dies ist der Fall bei

- Windgeschwindigkeiten < 2 bis 3 m/s
- Drehzahl- und Pitchwinkelveränderungen außerhalb des normalen Betriebsbereichs (Starten und Stoppen der WEA)
- Ggf. einzelne Betriebsdrehzahlen, bei denen eine Auswertung nicht möglich ist (anlagenspezifisch)

In diesen Fällen wird vom IDD.Blade Eiserkennungssystem eine entsprechende Meldung ausgegeben, sodass die sicherheitstechnische Steuerung der WEA darauf reagieren und die Anlage ggf. nach verstreichen einer kritischen Zeit abschalten kann um den Abwurf von unerkanntem Eisansatz zu verhindern.

3 Prüfbeschreibung

Im vorliegenden Gutachten /1/ wurde die kritische Eisdicke und damit einhergehend die kritische Detektionszeit für verschiedene NORDEX Anlagen ermittelt. Die dünnste ermittelte kritische Eisdicke stellt sich bei der NORDEX N100/2500 gamma (Nabenhöhe 75,0) zu 1,4cm ein. Damit einhergehend ergibt sich eine kritische Detektionszeit von etwa 14 Minuten. Diese Eisdicke und Detektionszeit wurde für die weitere Bewertung als Maßstab herangezogen.

Die grundsätzliche, anlagenunabhängige Eignung der vom IDD.Blade System verwendeten Sensorik und Auswerteeinheiten sowie die allgemeine Funktionsfähigkeit des Systemaufbaus bezüglich der zuverlässigen Detektion von globalen, strukturdynamischen Zustandsveränderungen wurde bereits im Rahmen einer früheren Begutachtung durch die Zertifizierungsstelle des Germanischen Lloyd, unter anderem auf Basis eines experimentellen Nachweises im Rotorblatttestprüfstand, geprüft und bestätigt. Darüber hinausgehend wurde in der hier vorliegenden Begutachtung durch genauere, quantitative Untersuchungen überprüft, ob das Eiserkennungssystem hinsichtlich der Schwellwerte und Parameter korrekt auf die Anlagen eingestellt ist und die ermittelten kritischen Eisdicken innerhalb der ermittelten kritischen Detektionszeiten zuverlässig erkennen und melden kann.

Im Rahmen der Testprozedur wurde das IDD.Blade Eiserkennungssystem anhand von numerischen Simulationsmodellen, welche auf den zwei repräsentativ ausgewählten Windenergieanlagen N100/2500 gamma und N117/3000 delta basieren, referenziert. Anschließend wurden verschiedene, maßgeblich auf den ermittelten kritischen Eisdicken basierende Vereisungsszenarien mittels Massenmanipulation der Anlagenmodelle simuliert und vom IDD.Blade Eiserkennungssystem ausgewertet. Im Zuge der Begutachtung des IDD.Blade Eiserkennungssystems wurden auf diese Weise 60 Testblöcke abgeprüft, welche Testszenarien als repräsentative Kombinationen von Wind-, Vereisungs- und Betriebsbedingungen der betrachteten Windenergieanlagen darstellen.

4 Prüfergebnisse

Auf Grundlage dieser Auswertungen wurde stark indiziert, dass das IDD.Blade Eiserkennungssystem ohne Einschränkungen in der Lage ist, die festgelegten kritischen Eisdicken in der kritischen Zeit zuverlässig und reproduzierbar in der Testumgebung und an den repräsentativ ausgewählten Windenergieanlagen zu detektieren. Auf Basis der Ergebnisse wird in der Verwendung der Eiswarnung als Abschaltkriterium der Windenergieanlagen das Potential gesehen, die Zuverlässigkeit der Eisdetektion bezüglich der kritischen Detektionszeit weiter zu erhöhen.

Das Eiserkennungssystem ist für die untersuchten Anlagen kompatibel mit den vorhandenen NORDEX Betriebsführungs- und Sicherheitssystemen und erfüllt das für diese Systeme maßgebliche Einzelfehlerkriterium. Die Parametrisierung der Anlage erfolgt im Rahmen der geregelten Inbetriebnahme und darf nur von autorisierten und dafür ausgebildeten Mitarbeitern vorgenommen werden. Die Prüfergebnisse sind auf die anderen Anlagen der K08 gamma, K08 delta und delta 4000 Serien übertragbar.

Die möglichen Verfahren zur Vermeidung des Wiederauffahrens nach Vereisung werden als ausreichend sicher bewertet.

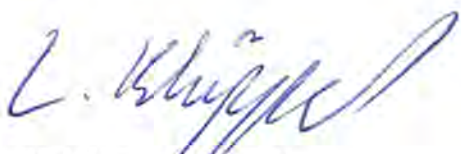
5 Fazit

Das Gutachten /1/ kommt zusammenfassend zu dem Schluss, dass die untersuchten NORDEX Windenergieanlagen in Verbindung mit dem Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel hinsichtlich der Eiserkennung dem Stand der Technik entsprechen und alle Ergebnisse dafür sprechen, dass unter den genannten Bedingungen eine Eisdicke erkannt wird, die geringer ist als die individuelle kritische Eisdicke.

6 Referenz

/1/ TÜV NORD
Gutachten zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur
Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen
Bericht Nr.: 8111327215 D Rev.4
Datum: 05.03.2019

Erstellt

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "L. Klüppel".

Dipl.-Ing. L. Klüppel

Geprüft

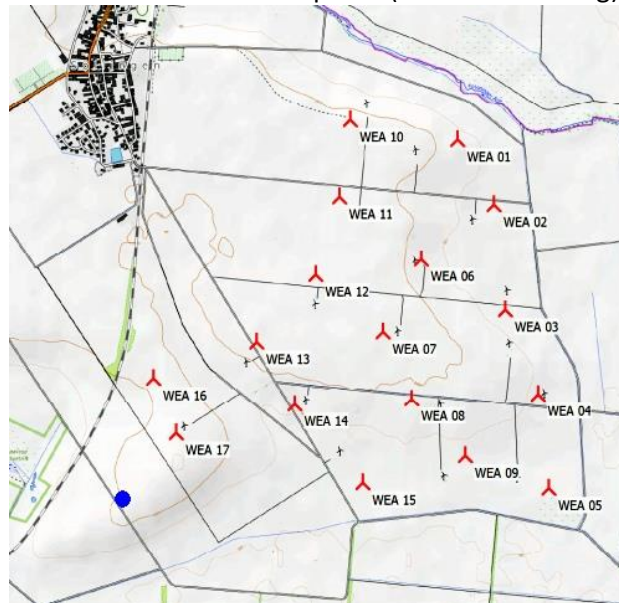
A handwritten signature in blue ink, appearing to read "O. Raupach".

Dipl.-Ing. O. Raupach

Fotodokumentation

Zeit: 25.2.2021, 13:00

Übersichtskarte: mit Fotopunkt (blaue Markierung), WEA 1-18: geplante Anlagen



Blick nach Norden Richtung Bahnlinie (an der Hecke). Im Vordergrund rechts Standorte der WEA 16 und 17.



Blick auf Standort WEA 16 (auf dem Feld). Zwischen den Bäumen verläuft die Bahnlinie.

