

Risikoanalyse für vier geplante Windenergieanlagen bei Torisdorf und Löwitz (Mecklenburg- Vorpommern)

Berichtsnummer: WE2020-11-25

Seiten: 36 Seiten + 7 Seiten Anhang

Auftragnehmer:

Ingenieurbüro Dr.-Ing. Dieter Frey
Bürgermeister Kröger Straße 17
D - 21244 Buchholz - Sprötze

Auftraggeber:

eno energy GmbH
Straße am Zeltplatz 7
18230 Ostseebad Rerik

INHALT

1.	ZUSAMMENFASSUNG	3
2.	EINLEITUNG	4
3.	STANDORTBESCHREIBUNG	5
3.1	LAGE	5
4.	RISIKOBEWERTUNG	9
4.1	INDIVIDUELLES RISIKO	9
4.2	KOLLEKTIVES RISIKO (GEFÄHRDUNG DES ÖFFENTLICHEN VERKEHRS)	10
5.	RISIKOANALYSE	11
5.1	EISWURF UND EISFALL	11
5.1.1	BESTIMMUNG DER EISABWURFWEITEN	11
5.1.2	BESTIMMUNG DES EISFALLRISIKOS	13
5.1.3	MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR EISWURF IM BETRIEB	18
5.1.3.1	ERKENNUNG VON EISANSATZ	18
5.1.3.2	MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR EISWURF BEI WIEDERANLAUF	18
5.2	BAUTEILVERSAGEN	18
5.2.1	ROTORBLATT	18
5.2.2	TURM	19
5.2.3	MAßNAHMEN ZUR MINIMIERUNG DES SCHADENSRIKOS	19
5.3	BRANDGEFÄHRDUNG	19
5.3.1	MAßNAHMEN ZUR MINIMIERUNG DES BRANDRIKOS	20
6.	RISIKOANALYSE UND BEWERTUNG	21
6.1	EISWURF UND EISFALL	21
6.1.1	VEREISUNGSPOTENTIAL	21
6.1.2	GEFÄHRDUNGSRADIUS	22
6.1.3	INDIVIDUALRISIKO	22
6.1.3	KOLLEKTIVRISIKO	23
6.2	RISIKO DURCH BAUTEILVERSAGEN TURM / ROTORBLATT	24
6.2.1	INDIVIDUALRISIKO	25
6.2.2	KOLLEKTIVRISIKO	26
6.3	RISIKO DURCH BRAND	26
6.3.1	INDIVIDUALRISIKO	27
6.3.2	KOLLEKTIVRISIKO	28
7.	MODELL- UND DATENUNSIKERHEITEN	29
8.	BEWERTUNG UND EMPFEHLUNGEN	30
9	VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	31
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	32
11	TABELLENVERZEICHNIS	33
	LITERATURVERZEICHNIS	34

1. Zusammenfassung

Bei drei der vier geplanten Windenergieanlagen (WEA 2-4) nahe den Ortschaften Torisdorf und Löwitz (Landkreis Nordwestmecklenburg) wird der erforderliche Mindestabstand zu öffentlichen Verkehrsflächen bzgl. Eisabwurf, sowie Blatt- und Turmversagen und Brandgefährdung (1,5 x Nabenhöhe) unterschritten.

Die Risikoabschätzung ergab, dass die Risiken bei der nördlichen WEA 2 im unkritischen Bereich, bei den WEA 3 und 4 für Eisfall im tolerablen Bereich liegen. Es sind daher für die WEA 3 und 4 risikomindernde Maßnahmen vorzusehen. Durch folgende Maßnahmen kann das Gefährdungsrisiko bei **Eiswurf und Eisfall** deutlich minimiert werden (siehe Kap.8):

1. Installation eines Systems zur automatischen Erkennung von Eisansatz an den Rotorblättern und Abschaltung der WEA nach Vorgabe des Anlagenherstellers [2].
2. Vor dem Wiederaanlaufen der Anlage sollte die Eisfreiheit der Rotorblätter vor Ort durch ein zertifiziertes Eiserkennungssystem (hier System Weidmüller Blade control [2, Kap. 5.2], [6]) überwacht werden.
3. Aufstellung von Warnhinweisen (Gefährdung durch Eisfall) an den Zufahrtswegen zum Windpark.

Hierzu werden im Folgenden Berechnungen zur Eisabfallwahrscheinlichkeit bei stehendem Rotor im Umkreis der WEA beschrieben und die gefährdeten Bereiche in Kartenform dargestellt.

Darüber hinaus werden für die WEA 2-4 folgende Maßnahmen empfohlen:

Bauteilversagen Rotorblatt / Turm

Durch eine Schwingungsüberwachung im Turm und in den Rotorblättern können Schäden frühzeitig erkannt werden und die Anlage kann gestoppt werden. Die Funktionsfähigkeit der Messeinrichtungen muss durch regelmäßige Überprüfung (einmal jährlich) durch qualifiziertes Fachpersonal sichergestellt werden.

Brand

Eine regelmäßige Prüfung der Sicherheitseinrichtungen zum Brandschutz und eine Prüfung des Blitzschutzkonzepts (einmal jährlich) durch qualifiziertes Fachpersonal ist erforderlich (siehe Kap. 8).

Der Bericht wurde sorgfältig und unparteiisch nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Ergebnisse sind von dritter Seite unbeeinflusst zustande gekommen.

Von dem Bericht liegt eine Kopie im Ing.-Büro Frey, welche im Streitfall alleinig gültig ist.

Schadensersatzansprüche sind ausgeschlossen. Auszugsweise Veröffentlichungen aus diesem Bericht sind erlaubt, wenn die Seiten vollständig kopiert werden. Der Bericht ist vorzugsweise vollständig weiterzugeben.

Buchholz, den 25.11.2020



(Dr. Jost Constantin)

2. Einleitung

Die eno energy GmbH plant südlich und südöstlich der Ortschaft Torisdorf (Gemeinde Groß Siemz, Landkreis Nordwestmecklenburg, Mecklenburg-Vorpommern) und westlich der Ortschaft Löwitz (Stadt Rehna) die Errichtung von vier Windenergieanlagen des Typs eno 152 mit 165 m Nabenhöhe und 152 m Rotordurchmesser. An drei Aufstellungsorten wird der erforderliche Mindestabstand (1,5 mal Nabenhöhe oder 248 m) zu nahe gelegenen öffentlichen Wegen 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 der Genehmigungsbehörde gelten Abstände größer als 1,5 x Nabenhöhe 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 Schwingungsüberwachung, optimiertes Brandschutzkonzept) zu gewährleisten.

Bei einer Nabenhöhe der Neuanlagen (Typ eno 152) von 165 m und einem Rotordurchmesser von 152 m sind daher auftretende Abstände unter $1,5 \times 165 \text{ m} = 248 \text{ m}$ zu öffentlichen Verkehrswegen gesondert zu überprüfen. Betroffen hiervon ist bei der geplanten WEA 2 die Verbindungsstraße Torisdorf – Klein Rünz im Westen (Rünzer Weg). Südöstlich der geplanten WEA 3 und nordwestlich der WEA 4 verläuft die Verbindungsstraße von Klein Rünz nach Löwitz (Gemeinde Rehna) und Falkenhagen (Falkenhagener Straße).

Im Rahmen der Prüfung werden die vorgesehenen technischen Maßnahmen zur Vermeidung von Eisabwurf und Eisabfall rings um die neue WEA beschrieben und bewertet. Ergänzend wird eine Berechnung der Eisabfallwahrscheinlichkeit im Umkreis der WEA erstellt.

Die Risiken von Bauteilversagen des Turms und der Rotorblätter, sowie das Brandrisiko werden anhand der vorliegenden technischen Anlagenbeschreibung und der Schadensstatistik bestehender WEA aus den letzten Jahren beurteilt. Es werden Empfehlungen für die Risikominimierung beschrieben.

3. Standortbeschreibung

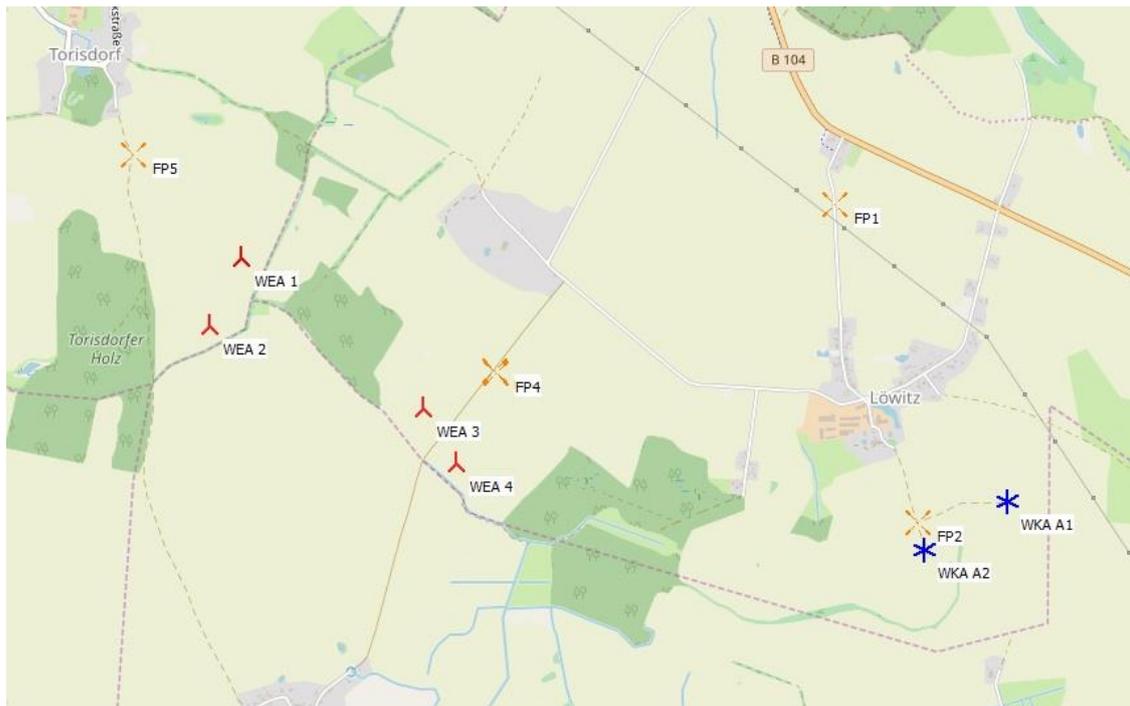
3.1 Lage

Der geplanten Standorte der Windenergieanlagen vom Typ eno 152 mit 165 m Nabenhöhe und 152 m Rotordurchmesser liegen zwischen den Ortschaften Torisdorf im Norden und Löwitz im Südosten (Landkreis Nordwestmecklenburg, Mecklenburg Vorpommern) auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Weitere Orte in der näheren Umgebung sind Klein Runz im Süden und Falkenhagen im Osten. Die Stadt Rehna liegt etwa 5 km südöstlich.

Die Standortumgebung ist gekennzeichnet durch großflächige, landwirtschaftliche Nutzflächen und kleinere Waldbestände. Die Wege und Straßen, sowie die Ortsrandbereiche sind verbreitet von Büschen und Bäumen gesäumt. Größere Waldbestände (Mischwald) liegen in allen Richtungen um die Standorte verteilt. Die Baumhöhe beträgt 15-20 m.

Die nördlichen zwei geplanten Standorte liegen östlich des Verbindungswegs von Torisdorf nach Klein Rünz. Die WEA 2 liegt ca. 240 m östlich des Weges. Die bei Löwitz geplanten WEA 3 und 4 befinden sich beidseitig des Verbindungswegs von Falkenhagen nach Klein Runz. Dieser Weg verläuft in Südwest-Nordostrichtung. (vgl. Abb. 1b). Beide WEA (3 und 4) unterschreiten dabei den notwendigen Mindestabstand.

Großräumig liegen alle Standorte in einem leicht hügeligen Gelände. Die Geländehöhen liegen im weiteren Umfeld (ca. 3 km) zwischen 40 und 65 m NN.



Copyright: open street map contributors

Abbildung 1a: Übersichtskarte der Standorte mit Fotopunkten (FP5 WEA 1,2; FP4 WEA 3,4).





Abbildung 1b: Rundumblick vom Standort FP4.



Abbildung 1c: Rundumblick vom Standort FP5.

4. Risikobewertung

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, [12])
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes [8]
- Risk Criteria in EU [13]
- Deutsche Störfall Kommission-Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung [14]
- Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen VdTÜV [15]

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 Straßenverkehr werden die Gefährdung der einzelnen Verkehrsteilnehmer und die des Straßenverkehrs 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 Verkehrs auf öffentlichen Wegen nötig (Kollektivrisiko). Diese wird mit Hilfe von Schätzungen zur Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen [8, 9] 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* [7]).

GBE Statistik

Nach den Unfallstatistiken der GBE [12] 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 [15] 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 [9] 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 öffentlichen Verkehrs)

Zur Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch die WEA wird das allgemein vorliegende Unfallrisiko im Straßenverkehr betrachtet. Dazu werden die aktuellen Statistiken von Verkehrsunfällen herangezogen (Statistisches Bundesamt [8,9]). Bei einer signifikanten Risikoerhöhung (größer 10% in Anlehnung an das MEM Prinzip [1]) sind entsprechende Maßnahmen zur Minderung vorzusehen.

Nach [8, 9] gab es in 2019 je 1.000 km Straßenlänge 436 Unfälle mit Personenschaden (außerorts, ohne Autobahnen).

Das entspricht einer Unfalloberhäufigkeit von (gerundet) $4,4 \cdot 10^{-1}$ (0,44) pro Kilometer und Jahr außerorts (ohne Autobahn), bzw. einem Unfall mit Personenschaden alle 2,3 Jahre (außerorts ohne Autobahn).

Die signifikante Risikoschwelle (10%) liegt dann bei $4,4 \cdot 10^{-2}$ je km und Jahr. Berücksichtigt man die betroffene Weglänge (ca. 1,5 km im Gefährdungsbereich aller geplanten WEA, erhält man in Anlehnung an das ALERP Prinzip [7] folgende Risikogrenzwerte:

- Obere Grenze: $6,56 \cdot 10^{-2}$ je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit Personenschaden alle 15 Jahre;
- Untere Grenze: $6,56 \cdot 10^{-3}$ je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit Personenschaden alle 153 Jahre.

Bezogen auf die betroffenen öffentlichen Wege südlich von Torisdorf und östlich von Löwitz ist daher eine Unfalloberhäufigkeit kleiner als $6,56 \cdot 10^{-3}$ je WEA als unkritisch zu bewerten. Ein Unfallrisiko zwischen $6,56 \cdot 10^{-2}$ und $6,56 \cdot 10^{-3}$ ist tolerabel, Maßnahmen zur Risikominderung sind jedoch zu prüfen. Bei einem Unfallrisiko größer als $6,56 \cdot 10^{-2}$ je WEA 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 [5]. 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, WECCO Projekt*, [4]) wurde ein Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Verdriftung entwickelt und mit beobachteten Abwurfweiten verifiziert (*H. Seifert 2007; [5]*).

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 Modelldaten (Reanalysedaten ERA 5) ermittelt.

Tabelle 1: Verwendete Windstatistiken im Windpark Löwitz-Torisdorf, langjährige Mittelwerte November bis April).

Richtungssektor	Windgeschwindigkeit in 165 m Höhe über Grund (Mittel)	Windrichtung Häufigkeit
	m/s	Prozent
0 (Nord)	5,59	3,9
1	5,81	4,3
2	6,45	5,8
3 (Ost)	6,75	7,3
4	6,88	7,3
5	7,01	7,1
6 (Süd)	7,31	7,5
7	8,19	11,5
8	8,57	15,9
9 (West)	8,17	14,5
10	7,27	10,2
11	5,79	4,8
Mittel windrichtungsgewichtet	7,39	

5.1.2 Bestimmung des Eisfallrisikos

Die folgende Karte zeigt die Standorte der geplanten WEA vom Typ eno 152, (H=165m, D=152m) und den maximalen Abstandskreis (1,5 x (H+D), Radius 476 m) um die Standorte, innerhalb derer eine erhöhte Gefährdung vorliegt. Die Länge des betroffenen Wegbereichs beträgt ca. 905 m (bei Torisdorf, E1) und 1.050 m bei Löwitz (E2).

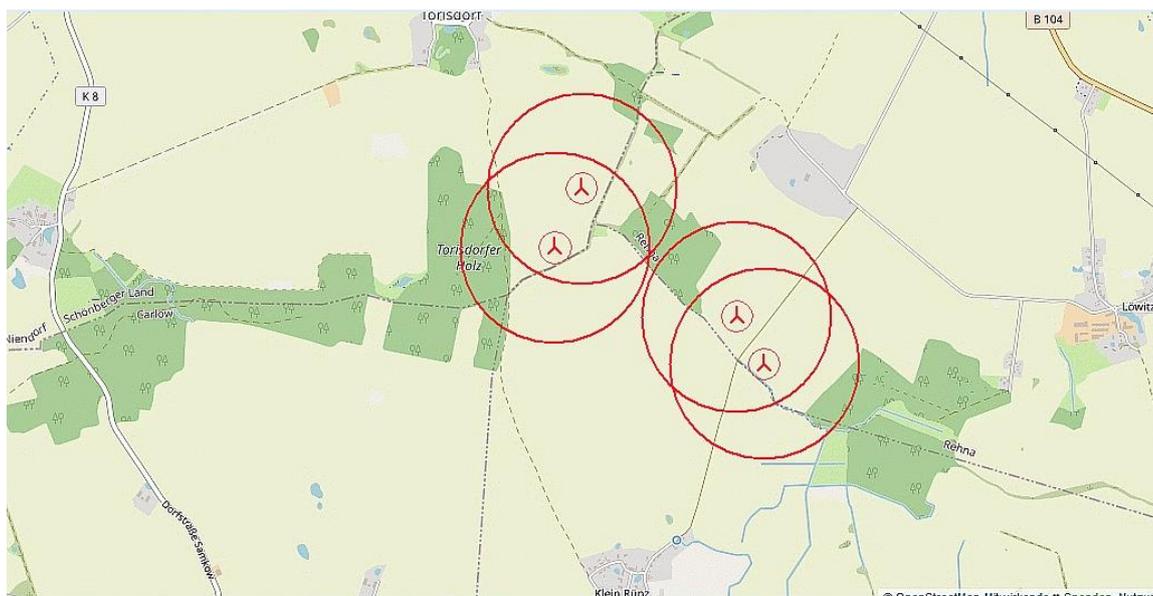


Abbildung.2: Maximaler Gefährdungsradius (großer Kreis 1,5x (H+D), 476 m, kleiner Kreis: Rotordurchmesser) rings um die WEA 1-4. (Nr.1,2 im Nordwesten, Nr.3,4 im Südosten). Die gefährdeten Bereiche sind die Wege innerhalb des Gefährdungskreises (E1: braune gestrichelte, E2: braune durchgezogene Linie).

Tabelle 2: Übersicht der betrachteten WEA und der gefährdeten Wegebereiche.

lfd. Nr	Bezeichnung	Typ	Nabenhöhe (m)	Rotordurchmesser (m)	UTM ETRS89 Zone 33	
					Ost	Nord
Neue WEA						
1	WEA01	eno 152	165,0	152,0	234.446	5.968.477
2	WEA02	eno 152	165,0	152,0	234.295	5.968.189
3	WEA03	eno 152	165,0	152,0	235,193	5.967.786
4	WEA04	eno 152	165,0	152,0	235.320	5.967.541
Betroffene Verkehrswege						
	Bezeichnung	WEA im Abstand < 479 m		Lage		
E1	Öffentlicher Weg, Torisdorf – Klein Rünz, ca. 905m	Nr. 1, 2		240 m westlich von Nr.2		
E2	Öffentlicher Weg, Klein Rünz - Löwitz und Falkenhagen, ca. 1.050 m	Nr. 3, 4		130 m SO von Nr.3, 90 m NW von Nr. 4		

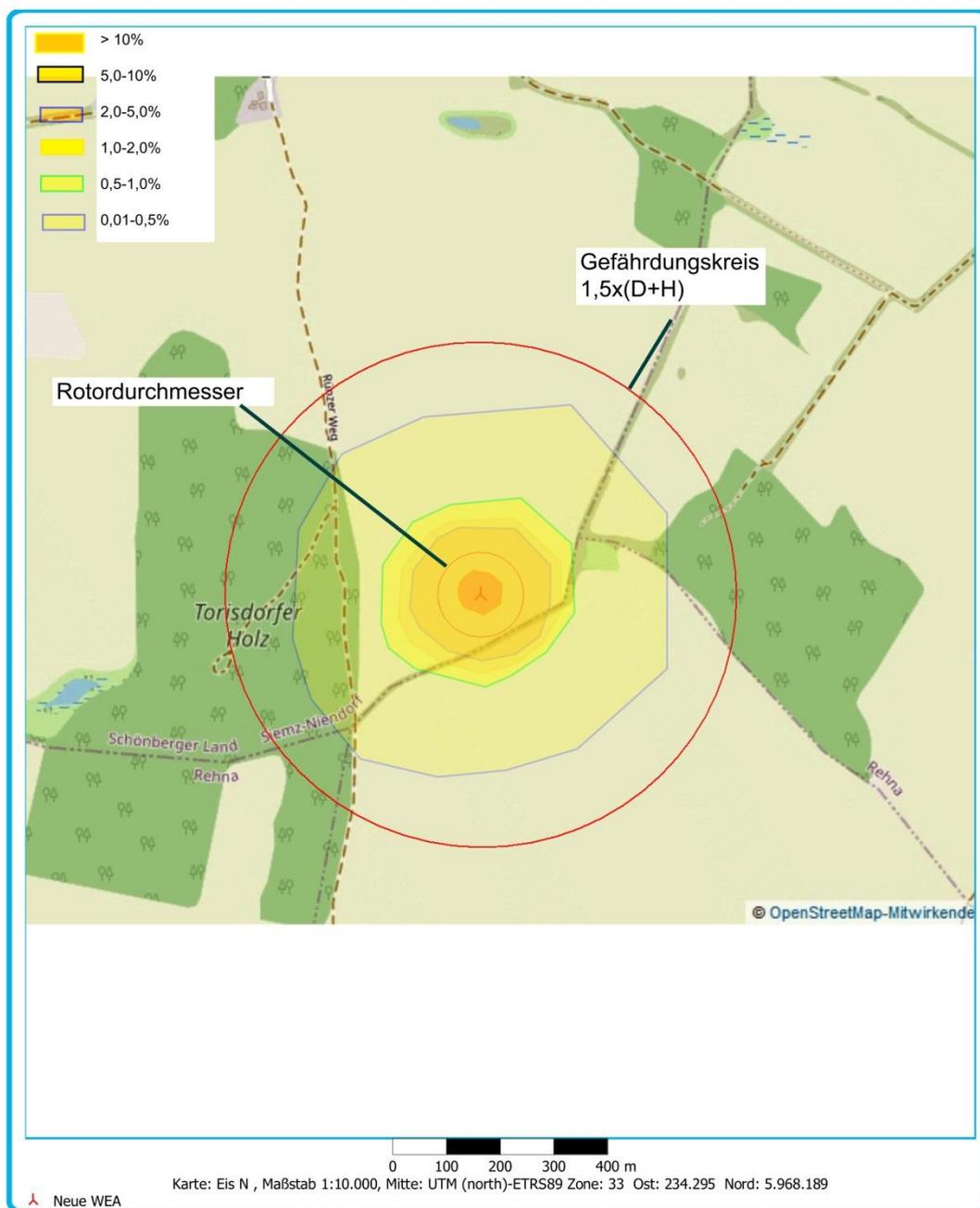
Aus den Windhäufigkeitsdaten kann die Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisstücken im Umkreis der WEA berechnet werden (vgl. Kap. 5.1.1). Die auf der nächsten Seite dargestellte Karte stellt die Auftreffwahrscheinlichkeit für abfallendes Eis in Prozent je Quadratmeter Grundfläche dar.

Wie erwartet, nimmt die Wahrscheinlichkeit rasch mit dem Abstand zum Anlagenmittelpunkt ab. Innerhalb der vom Rotorkreis überstrichenen Fläche (Abstand < 79 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 1).

Wegen des größeren Abstands zum Weg ist die Gefährdung bei WEA 2 (E1) wesentlich geringer als bei E2 (WEA 3, 4).

Eisfallwahrscheinlichkeit je m²



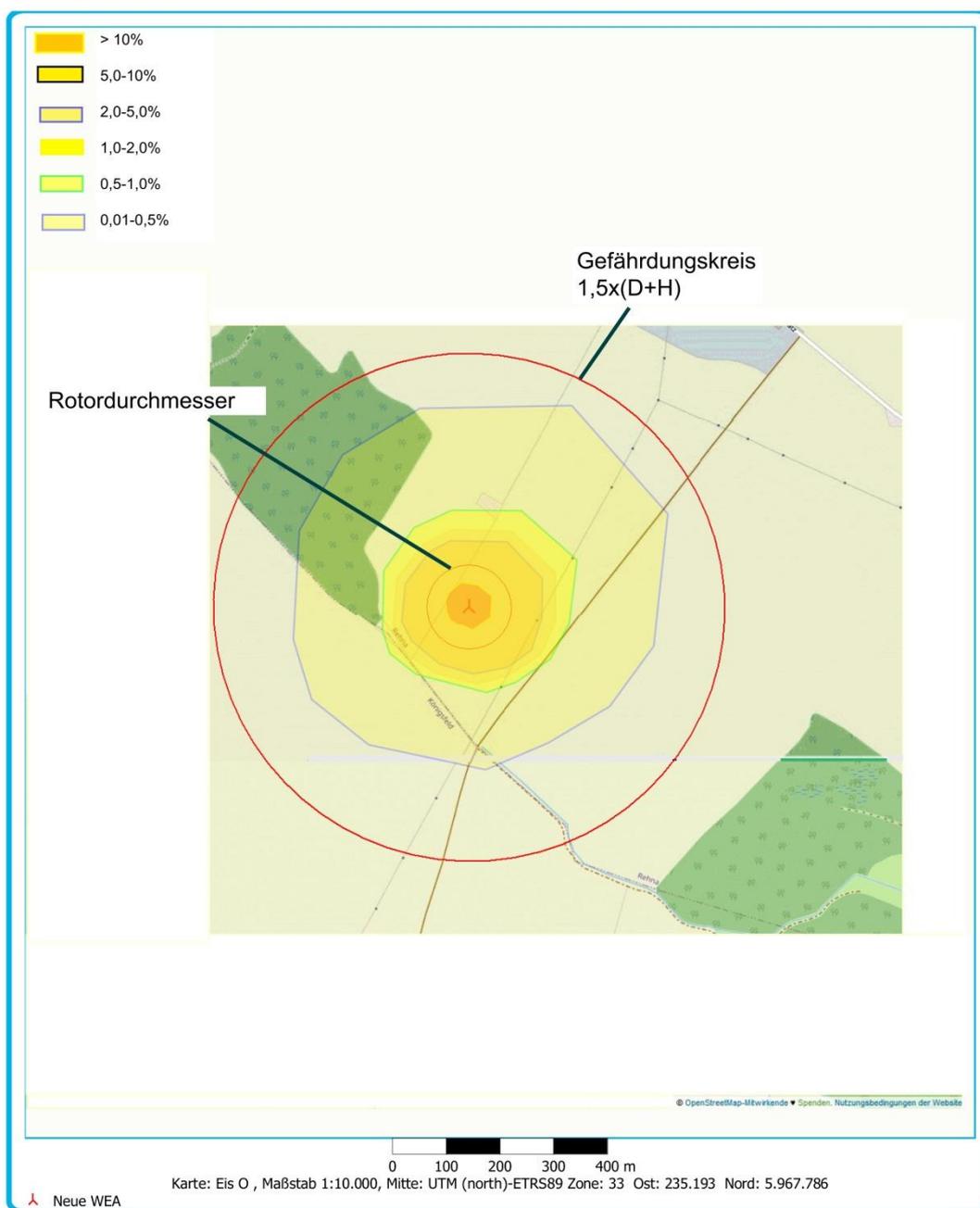
windPRO 3.1.633 | EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

01.08.2020 18:20 / 1



Abbildung 3: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von WEA 2. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 476m), der kleine Kreis der Rotorkreis (Durchmesser 152m).

Eisfallwahrscheinlichkeit je m² WEA 3



windPRO 3.1.633 | EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

01.08.2020 18:23 / 1



Abbildung 4: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von WEA 3. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 476m), der kleine Kreis der Rotorkreis (Durchmesser 152m).

Eisfallwahrscheinlichkeit je m² WEA 4

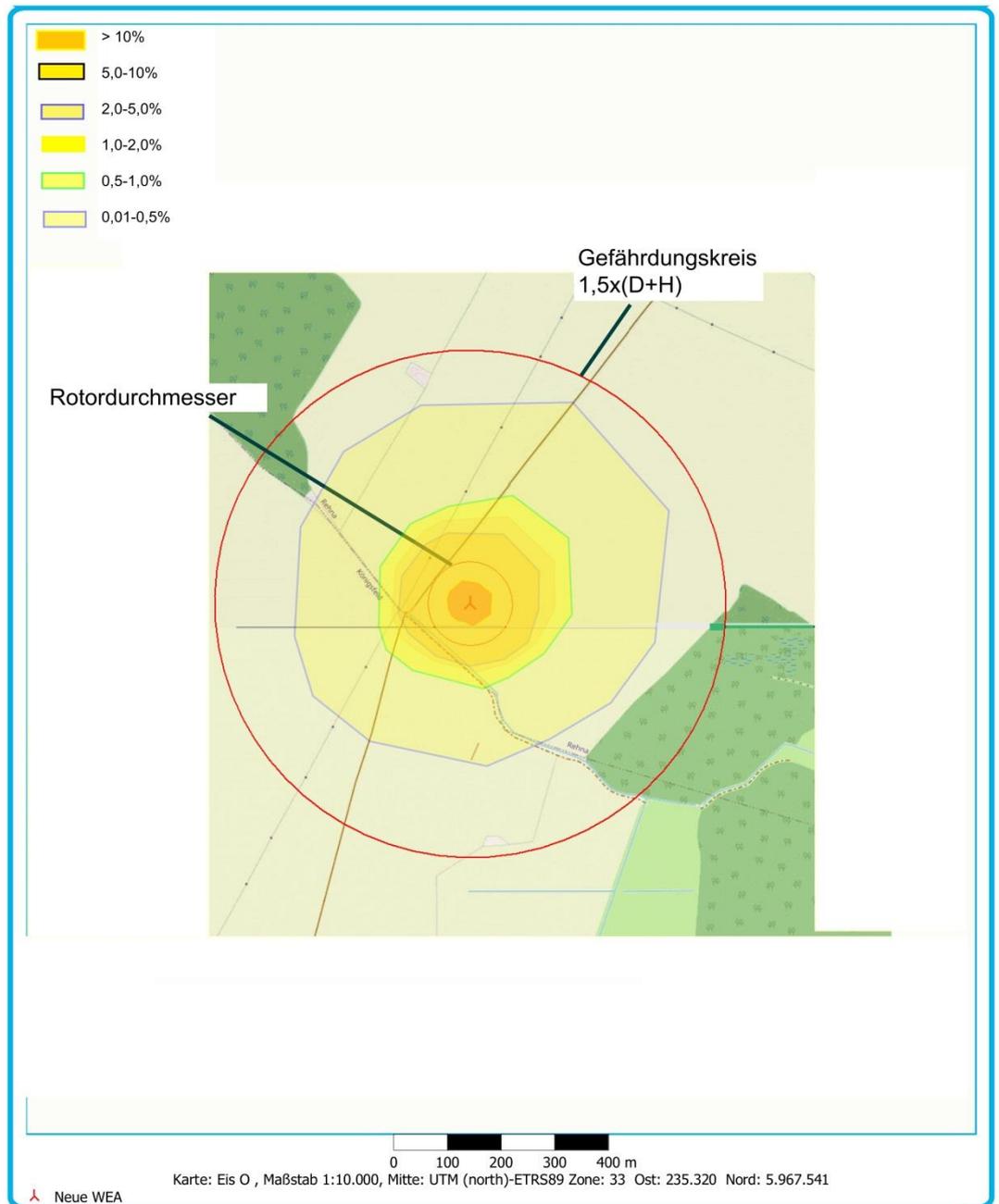


Abbildung 5: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von WEA 4. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 476m), der kleine Kreis der Rotorkreis (Durchmesser 152m).

5.1.3 Maßnahmen zum Schutz vor Eiswurf im Betrieb

5.1.3.1 Erkennung von Eisansatz

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

Ein Eisansatz wird dabei durch zwei unabhängige Systeme, Schwingungsüberwachung und Leistungskurvenüberwachung 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. (optional): Einbau eines Sensors zur Bestimmung der Eisbildung am Rotor (System Weidmüller Blade control, [6]). An jedem Rotorblatt misst ein Sensor die Eigenfrequenz des Blattes, die sich bei Eisansatz verändert. Werden bestimmte Grenzwerte der Abweichung überschritten, wird die WEA durch den Betriebsführungsrechner gestoppt. Alternativ kann ein Eissensor auf der Gondel installiert werden, der das Risiko von Eisbildung unabhängig von Punkt (1) und (2) misst und die Anlage ggf. stoppt.

Durch drei voneinander unabhängige Erkennungssysteme ist eine sichere Detektion von Eisansatz möglich.

5.1.3.2 Maßnahmen zum Schutz vor Eiswurf bei Wiederanlauf

Vor einem Wiederanlauf der Anlage muss die Eisfreiheit der Rotorblätter durch Sichtkontrolle vor Ort überprüft werden. Der Wiederanlauf muss manuell vor Ort erfolgen. Beim Anlaufvorgang kann bei Auftreten von Eisabwurf durch das Personal vor Ort ein sofortiger Stopp erfolgen.

5.2 Bauteilversagen

Bei einem Bauteilversagen, insbesondere des Turms oder eines Rotorblatts kann durch abfallende Anlagenteile eine Gefährdung nahegelegener Verkehrswege, hier des südlich verlaufenden öffentlichen Wegs ausgelöst werden. Möglich ist auch ein Absturz der kompletten Gondel bei Versagen der Gondelbefestigung am Turm.

5.2.1 Rotorblatt

Rotorblätter können durch Brand (siehe Kap. 5.3) Materialermüdung, Überlastung infolge von Überdrehzahl oder Blattschwingungen oder ein Versagen des Blattlagers / Blattflansches abfallen.

Teile der Rotorblätter werden dabei ähnlich wie Eisstücke verdriftet. Die Analyse von Schadensbildern bei in der Vergangenheit aufgetretenen Blattschäden zeigt, dass bei Blattzerstör-

rung infolge von Überdrehzahl (der meist bei hohen Windgeschwindigkeiten auftritt) Trümmerstücke mehrere Hundertmeter um die Anlage verteilt sein können.

5.2.2 Turm

Ein Turmversagen kann durch Materialermüdung, Überlastung infolge von Überdrehzahl des Rotors oder mangelnde Standsicherheit des Fundaments ausgelöst werden. Aufgrund der kompakten Massen (keine Verdriftung) ist der Gefährdungsbereich kleiner als bei Blattabfall. Ein Gefährdungsradius von $1,5 \times (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotorradius}) = 476 \text{ m}$ für die eno 152 mit 161m Nabenhöhe - kann bei einem Turmversagen daher als ausreichend betrachtet werden. Gleiches gilt bei einem Abfall der kompletten Gondel.

5.2.3 Maßnahmen zur Minimierung des Schadensrisikos

Blatt- und Turmschäden können durch geeignete Schwingungsmessverfahren im Vorfeld eines Bauteilversagens erkannt werden. Entsprechende Messsysteme sind im Turm und im Antriebsstrang der eno 152 eingebaut [6]. Bei Überschreitung kritischer Grenzwerte wird die WEA automatisch gestoppt und es erfolgt eine Benachrichtigung der Service-Leitstelle. Vor einem Wiederanlauf ist die Ursache der Grenzwertüberschreitung durch qualifiziertes Fachpersonal zu ermitteln.

Die Funktionstüchtigkeit des Sensorsystems sollte regelmäßig (mindestens 2x pro Jahr) im Rahmen der Anlagenwartung geprüft werden.

5.3 Brandgefährdung

Ein Brand in der Gondel einer WEA oder ein Blitzeinschlag mit Brandfolge kann zum Abfall der Rotorblätter oder Teilen davon führen. Insbesondere bei dichtem Abstand zu öffentlichen Verkehrsflächen sind daher verstärkte Maßnahmen zum Brandschutz notwendig.

Brände können insbesondere in der Gondel, im Turm sowie in der Umspannstation der Windenergieanlagen entstehen. Zu den typischen Ursachen der Brandentstehung an WEA zählen Blitzeinschlag, Fehler in elektrischen Einrichtungen (z.B. leistungselektronische Bauteile, Steuerungselektronik), Funkenflug durch Überlastung mechanischer Bremsen sowie feuergefährliche Arbeiten im Rahmen von Wartungs- und Reparaturarbeiten. Zu den brennbaren Komponenten einer WEA zählen insbesondere Elektrokabel, Getriebe-, Transformator- und Hydrauliköle sowie weitere brennbare Materialien wie das Maschinenhaus selbst oder die i.d.R. aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) gefertigten Rotorblätter. Entstehungsbrände können sich daher auf das Maschinenhaus sowie auf die Rotorblätter ausbreiten und zu einem Totalschaden führen.

Grundsätzlich müssen WEA so beschaffen sein, dass der Entstehung eines Brandes der Anlage und der Brandweiterleitung auf die Umgebung vorgebeugt wird. Hierbei geht es zunächst um konstruktionsbedingte Vorkehrungen, z.B. Verwendung nichtbrennbarer Materialien, um Brände innerhalb einer Anlage erst gar nicht entstehen zu lassen. Als weitere brandschutztechnische Maßnahmen zur Vermeidung der Brandentstehung an WEA werden standardmäßig Blitzschutzanlagen eingesetzt, um Überspannungen durch Blitzeinschläge zu vermeiden. Daneben dienen Systeme zur Brandfrüherkennung, z.B. Brandmelder, sowie aktive Löschsysteme dazu, die Brandentstehung zu registrieren und eine Brandausbreitung möglichst frühzeitig zu verhindern. Moderne WEA verfügen über unterschiedliche Sensoren, um

beispielsweise die Betriebstemperaturen einzelner Komponenten (Maschine, Schaltschränke etc.) messtechnisch zu überwachen. Die Brandfrüherkennung sowie die automatisierte Weiterleitung an die Fernüberwachungszentrale sind von großer Bedeutung, da sich im regulären Betrieb keine Personen auf der Anlage aufhalten. Daneben sind Brandschutzvorschriften obligatorisch, die vor allem bei Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten von Bedeutung sind, z.B. das Vorhalten von Handfeuerlöschern, Rauchverbote, etc.

5.3.1 Maßnahmen zur Minimierung des Brandrisikos

Das Brandschutzkonzept der eno 152 [3] sieht folgende Überwachungseinrichtungen vor:

Im Maschinenhaus ist ein Temperatursensor installiert, der die Innentemperatur des Maschinenhauses misst. Bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte wird automatisch eine Meldung an die Service-Leitstelle gesendet und die WEA wird automatisch angehalten. Ebenso werden die Temperaturen der verschiedenen Lager (Rotor, Getriebe, Generator), sowie von Getriebeöl und Generatorwicklung überwacht.

Bei Überschreiten von Grenzwerten folgt eine Abschaltung mindestens der betroffenen Systeme. Schutzeinrichtungen gegen die Folgen von Kurzschlüssen und Überstrom sowie Motorschutzschalter mindern die Gefahr von Entstehungsbränden weiter. Die Fernüberwachung wird automatisch über den Ausfall einzelner Komponenten oder das Abschalten der WEA informiert.

Zur Minimierung des Brandrisikos durch Blitzeinschlag ist eine regelmäßige Prüfung des Blitzschutzkonzepts der eno 152 [10] notwendig

6. Risikoanalyse und Bewertung

6.1 Eiswurf und Eisfall

Abfallende Eisstücke aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit können für Verkehrsteilnehmer im Trefferbereich eine ernste Gefahr darstellen. Geschlossene Fahrzeuge bieten Schutz, durch reflexartige Reaktionen des Fahrers können jedoch Unfälle ausgelöst werden.

Die häufig beobachteten Schäden durch von LKW abfallenden Eisplatten belegen den hohen Gefährdungsgrad für Personen- und Sachschäden.

Die betrachteten WEA sind mit einem System zur automatischen Abschaltung bei Eisansatz von drehenden Rotorblättern ausgestattet. Das 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 Torisdorf und Löwitz ist gemäß den Statistiken des Deutschen Wetterdienstes für das ca. 30 km entfernte Schwerin mit 25 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 25 Vereisungstage in Schwerin lassen sich in sieben 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 Gütisch) verwendet [16]. 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 ist proportional zur Rotorfläche und damit zum Quadrat des Rotordurchmessers.

Das Verhältnis der Rotorflächen eno 152 zu Enercon E-40 6.44 beträgt 11,9. D.h. für die eno152 ist mit $11,9 \times 10 = 119$ Eisobjekten je Vereisung zu rechnen.

Auf das Jahr umgerechnet erhält man damit $119 \text{ Eisobjekte} \times 7 \text{ Vereisungsereignisse} = 836$ 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 165 m) beträgt die Fallweite ca. 405 m (für flache, flächige Eisobjekte mit maximalen Fallweiten).

Innerhalb dieses Abstands rings um die WEA 1 und 2, bzw. WEA 3 und 4 verlaufen öffentliche Wege (vgl. Abb.2).

6.1.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 3-5 (Gefährdungsflächen bei Eisabfall) dargestellten Trefferhäufigkeiten kann das Risiko eines Unfalls auf dem Weg ermittelt werden. Dabei wird konservativ eine durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit von 30 km/h angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht).

Trifft der Eisabfall zeitlich und örtlich mit dem zu betrachtenden Fahrzeug 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 (7 Vereisungsereignisse);

h_{Ev} Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (119 für den Anlagentyp eno 152);

h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Fläche der Windschutzscheibe ca. 2 m² (konservative Annahme, da nicht jeder Treffer die Windschutzscheibe durchschlägt und einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat).

P_{VA} Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit an einem Vereisungstag. Beispiel Anwohner oder Landwirt, der die Straße einmal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg). $P_{VA} = (365 * 2) / 365$

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 (905 m Weg südlich von Torisdorf, bzw. 1.050 m Weg nordöstlich von Klein Rünz), $v_f = 30 \text{ km/h}$

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 eines Fahrzeugs bei 30 km/h
E1: Torisdorf-Klein Rünz	Nr. 1	$1,45 \cdot 10^{-18}$
	Nr. 2	$3,83 \cdot 10^{-9}$
	Summe	$3,83 \cdot 10^{-9}$
E2: Klein Rünz-Löwitz	Nr. 3	$2,25 \cdot 10^{-6}$
	Nr. 4	$2,53 \cdot 10^{-5}$
	Summe	$2,76 \cdot 10^{-5}$

Ein Individualrisiko von $2,76 \cdot 10^{-5}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 36.300 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Eisabfall. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

Die WEA 1 ist ca. 410 m entfernt von der Straße, das Risiko für Eisfall ist daher entsprechend gering. Die WEA 3 und 4 stehen am nächsten zur Straße, entsprechend ist das Risiko hier am höchsten.

6.1.3 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 m^2 im Bereich j pro Eisabfall;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Fläche der Windschutzscheibe ca. 2 m^2 (konservative Annahme, da nicht jeder Treffer die Windschutzscheibe durchschlägt und einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat).

h_{aVT} Verkehrsdichte: 500 Fahrzeuge pro Tag (maximal geschätzt, inkl. Fußgänger und nicht motorisierte Fahrzeuge).

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 (905 m Weg südlich von Torisdorf, bzw. 1.050 m Weg nordöstlich von Klein Rünz), $v_f = 30 \text{ km/h}$

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 eines Fahrzeugs (Gefährdung des Straßenverkehrs)
E1: Torisdorf-Klein Rünz	Nr. 1	$1,18 \cdot 10^{-15}$
	Nr. 2	$3,11 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$3,11 \cdot 10^{-6}$
E2: Klein Rünz-Löwitz	Nr. 3	$1,83 \cdot 10^{-3}$
	Nr. 4	$2,05 \cdot 10^{-2}$
	Summe	$2,23 \cdot 10^{-2}$

Das ermittelte Kollektivrisiko von $2,23 \cdot 10^{-2}$ bei E2 bedeutet, dass sich im Mittel alle 45 Jahre ein schwerer Unfall durch Eisabfall ereignet. Eine Aussage zum Zeitpunkt lässt sich daraus nicht ableiten.

Die WEA 1 ist ca. 410 m entfernt von der Straße, das Risiko für Eisfall ist daher entsprechend gering. Die WEA 3 und 4 stehen am nächsten zur Straße, entsprechend ist das Risiko hier am höchsten.

6.2 Risiko durch Bauteilversagen Turm / Rotorblatt

Eine offizielle Statistik zum Bauteilversagen mit nachfolgendem Totalschaden (abgelöstes Rotorblatt, gekippte WEA) gibt es nicht.

In [17] und [18] sind schwere Unfälle an WEA, wie oben beschrieben, aus den letzten Jahren dokumentiert (Stand November 2020):

2008: 2 Ereignisse (abgerissenes Rotorblatt)

2009: 1 Ereignis (abgerissenes Rotorblatt)

2010: -

2011: 1 Ereignis (Gondel abgestürzt)

2012: 2 Ereignisse

2013: 5 Ereignisse

2014: 1 Ereignis

2015: 4 Ereignisse

2016: 7 Ereignisse

2017: 7 Ereignisse

2018: 12 Ereignisse

2019: 13 Ereignisse

2020: 12 Ereignisse (bis 15.11.2020)

Bezieht man die Unfälle auf die Gesamtzahl der installierten WEA in dem jeweiligen Jahr, erhält man ein Unfallrisiko durch Bauteilversagen von maximal $4,41 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr (für 2019 mit 29.459 installierten Anlagen). Dieser Wert wird im Folgenden verwendet.

6.2.1 Individualrisiko

Wie beim Eisfallrisiko wird konservativ eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht).

Trifft das Bauteilversagen zeitlich und örtlich mit dem zu betrachtenden Fahrzeug 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_{Ev} Anzahl Bauteile pro Bauteilversagen (1.000 als konservative Schätzung);

h_{vj} Häufigkeit Bauteilversagen pro Jahr ($4,41 \cdot 10^{-4}$);

h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² Straße im Bereich j pro Bauteilversagen;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Gesamtfläche ca. 10 m².

P_{VA} Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit; Beispiel Anwohner oder Landwirt, der die Straße einmal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg). $P_{VA} = (365 * 2)/365$

P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbereich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f t}\right) / 24$; l_j : (905 m Weg südlich von Torisdorf, bzw. 1.050 m Weg nordöstlich von Klein Rünz), $v_f = 30 \text{ km/h}$

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

Tabelle 5: Individualrisiko pro Jahr bei Bauteilversagen

Verkehrsweg	WEA	Treffer eines Fahrzeugs bei 30 km/h
E1: Torisdorf-Klein Rünz	Nr. 1	$1,41 \cdot 10^{-18}$
	Nr. 2	$6,98 \cdot 10^{-9}$
	Summe	$6,98 \cdot 10^{-9}$
E2: Klein Rünz-Löwitz	Nr. 3	$8,09 \cdot 10^{-9}$
	Nr. 4	$8,09 \cdot 10^{-9}$
	Summe	$1,62 \cdot 10^{-8}$

Im Unterschied zum Eisabwurf wird hier keine Abhängigkeit der Auftreffwahrscheinlichkeit vom Abstand zur WEA betrachtet, da hierfür keine Datenbasis vorhanden ist. Innerhalb des Gefährdungsradius von 476 m wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen. Daher sind die Trefferwahrscheinlichkeiten für alle Orte identisch.

Ein Individualrisiko von $1,62 \cdot 10^{-8}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 62 Mill. Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Bauteilversagen. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

6.2.2 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_{Ev} Anzahl Bauteile pro Bauteilversagen (1000 als konservative Schätzung);

h_{vj} Häufigkeit Bauteilversagen pro Jahr ($4,41 \cdot 10^{-4}$);

h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m² Straße im Bereich j pro Bauteilversagen;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Gesamtfläche ca. 10 m².

h_{aVT} Verkehrsdichte: 500 Fahrzeuge pro Tag (maximal geschätzt, inkl. Fußgänger und nicht motorisierte Fahrzeuge).

P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbe-
reich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f}\right) / 24$; l_j : (905 m Weg südlich von Torisdorf, bzw. 1.050 m
Weg nordöstlich von Klein Rünz), $v_f = 30 \text{ km/h}$

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

Tabelle 6: Kollektivrisiko pro Jahr bei Bauteilversagen

Verkehrsweg	WEA	Treffer eines Fahrzeugs bei 30 km/h
E1: Torisdorf-Klein Rünz	Nr. 1	$1,14 \cdot 10^{-15}$
	Nr. 2	$5,66 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$5,66 \cdot 10^{-6}$
E2: Klein Rünz-Löwitz	Nr. 3	$6,56 \cdot 10^{-6}$
	Nr. 4	$6,57 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$1,31 \cdot 10^{-5}$

Im Unterschied zum Eisabwurf wird hier keine Abhängigkeit der Auftreffwahrscheinlichkeit vom Abstand zur WEA betrachtet, da hierfür keine Datenbasis vorhanden ist. Innerhalb des Gefährdungsradius von 476 m wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen.

Das ermittelte Kollektivrisiko bei E2 bedeutet, dass sich im Mittel alle 76.200 Jahre ein schwerer Unfall durch Bauteilversagen ereignet. Eine Aussage zum Zeitpunkt lässt sich daraus nicht ableiten.

6.3 Risiko durch Brand

Eine offizielle Statistik zu Bränden an WEA gibt es nicht.

In [17] und [18] sind Brände an WEA aus den letzten Jahren dokumentiert:

2008: 1 Ereignis

2009: 2 Ereignisse

2010: 3 Ereignisse
 2011: 2 Ereignisse
 2012: 6 Ereignisse
 2013: 6 Ereignisse
 2014: 2 Ereignisse
 2015: 4 Ereignisse
 2016: 8 Ereignisse
 2017: 5 Ereignisse
 2018: 12 Ereignisse
 2019: 6 Ereignisse
 2020: 6 Ereignisse (bis 15.11.20)

Bezieht man die Brandereignisse auf die Gesamtzahl der installierten WEA in dem jeweiligen Jahr, erhält man ein Unfallrisiko durch Brand von maximal $4,11 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr (für 2018 mit 29.213 installierten Anlagen).

6.3.1 Individualrisiko

Wie beim Bauteilversagen wird konservativ eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht).

Trifft der Brand zeitlich und örtlich mit dem zu betrachtenden Fahrzeug 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_{Ev} Anzahl Bauteile pro Brandfall (1000 als konservative Schätzung);

h_{vj} Häufigkeit Brand pro Jahr ($4,11 \cdot 10^{-4}$);

h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m^2 Straße im Bereich j pro Brandereignis;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Gesamtfläche ca. $10 m^2$.

P_{VA} Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit; Anwohner oder Landwirt, der die Straße einmal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg). $P_{VA} = (365 * 2)/365$

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 : (905 m Weg südlich von Torisdorf, bzw. 1.050 m Weg nordöstlich von Klein Rünz), $v_f = 30 km/h$

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

Tabelle 7: Individualrisiko pro Jahr bei Brand

Verkehrsweg	WEA	Treffer eines Fahrzeugs bei 30 km/h
E1: Torisdorf-Klein Rünz	Nr. 1	$1,31 \cdot 10^{-18}$
	Nr. 2	$3,21 \cdot 10^{-9}$
	Summe	$6,49 \cdot 10^{-9}$
E2: Klein Rünz-Löwitz	Nr. 3	$7,53 \cdot 10^{-9}$
	Nr. 4	$7,53 \cdot 10^{-9}$
	Summe	$1,51 \cdot 10^{-8}$

Im Unterschied zum Eisabwurf wird hier keine Abhängigkeit der Auftreffwahrscheinlichkeit vom Abstand zur WEA betrachtet, da hierfür keine Datenbasis vorhanden ist. Innerhalb des Gefährdungsradius von 476 m wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen. Ein Individualrisiko von $1,51 \cdot 10^{-8}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 66 Mill. Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Brand. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

6.3.2 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_{Ev} Anzahl Bauteile pro Brandereignis (1000 als konservative Schätzung);

h_{vj} Häufigkeit Brand pro Jahr ($4,11 \cdot 10^{-4}$);

h_{Tej} Häufigkeit der Treffer pro m^2 Straße im Bereich j pro Brandereignis;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Gesamtfläche ca. $10 m^2$.

h_{aVT} Verkehrsdichte: 500 Fahrzeuge pro Tag, (maximal geschätzt, inkl. Fußgänger und nicht motorisierte Fahrzeuge).

P_{Aj} Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Gefährdungsbe-
reich j eintritt: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{v_f t}\right) / 24$; l_j : (905 m Weg südlich von Torisdorf, bzw. 1.050 m
Weg nordöstlich von Klein Rünz), $v_f = 30 km/h$

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

Tabelle 8: Kollektivrisiko pro Jahr bei Brand

Verkehrsweg	WEA	Treffer eines Fahrzeugs bei 30 km/h
E1: Torisdorf-Klein Rünz	Nr. 1	$1,06 \cdot 10^{-15}$
	Nr. 2	$5,27 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$5,27 \cdot 10^{-6}$
E2: Klein Rünz-Löwitz	Nr. 3	$6,11 \cdot 10^{-6}$
	Nr. 4	$6,11 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$1,22 \cdot 10^{-5}$

Im Unterschied zum Eisabwurf wird hier keine Abhängigkeit der Auftreffwahrscheinlichkeit vom Abstand zur WEA betrachtet, da hierfür keine Datenbasis vorhanden ist. Innerhalb des Gefährdungsradius von 476 m wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen. Das ermittelte Kollektivrisiko bei E2 bedeutet, dass sich im Mittel alle 82.000 Jahre ein schwerer Unfall durch Brand 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 bei Eisfall, Bauteilversagen und Brand zusammen:

Tabelle 9: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA 1-4

Risiko Unfall Weg	Eisfall	Bauteilversagen	Brand
Plauerhagen - Penzlin			
E1 Straße Torisdorf – Klein Rünz			
Individualrisiko	$3,83 \cdot 10^{-9}$	$6,98 \cdot 10^{-9}$	$6,49 \cdot 10^{-9}$
Kollektivrisiko	$3,11 \cdot 10^{-6}$	$5,66 \cdot 10^{-6}$	$5,27 \cdot 10^{-6}$
E2 Straße Klein Rünz - Löwitz			
Individualrisiko	$2,76 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$1,51 \cdot 10^{-8}$
Kollektivrisiko	$2,23 \cdot 10^{-2}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$1,22 \cdot 10^{-5}$

Am Verkehrsweg E1 liegen Individual- und Kollektivrisiko deutlich im unkritischen Bereich kleiner $1,0 \cdot 10^{-6}$.

Am Verkehrsweg E2 liegen Individual- und Kollektivrisiko bei Eisfall mit $2,23 \cdot 10^{-2}$ im tolerablen Bereich zwischen $6,56 \cdot 10^{-3}$ und $6,56 \cdot 10^{-2}$. Bei Bauteilversagen und Brand sind die Werte hier im unkritischen Bereich von kleiner $6,56 \cdot 10^{-3}$ (vgl. Kap.4.2).

Nach dem ALARP Prinzip [7] sind daher für die WEA 3 und 4 Maßnahmen zur Risikominderung bzgl. Eisfall erforderlich, bzw. zu prüfen. Folgende Maßnahmen werden dazu vorgeschlagen:

Eisfall:

Einsatz eines erweiterten Eiserkennungssystems (System Bladecontrol von Weidmüller, [6]), das Eisansatz auch im Stillstand erkennt und automatische Warnmeldungen an das Betriebspersonal sendet. Diese Systeme sind für die eno 152 erhältlich [2, Kap.5.2].

Darüber hinaus werden zur Risikominderung für alle WEA folgende Maßnahmen empfohlen:

Bauteilversagen:

Blatt- und Turmschäden müssen durch geeignete Schwingungsmessverfahren im Vorfeld eines Bauteilversagens erkannt werden. Entsprechende Überwachungssysteme sind nach Angaben des Herstellers im Turm und im Antriebsstrang der eno 152 eingebaut [11]. Bei Überschreitung kritischer Grenzwerte muss sichergestellt werden, dass die Anlage automatisch gestoppt wird. Vor einem Wiederanlauf ist die Ursache der Grenzwertüberschreitung durch qualifiziertes Fachpersonal zu ermitteln.

Die Funktionsfähigkeit der eingebauten Messsysteme (Schwingungssensorik) sollte mindestens einmal pro Jahr durch qualifiziertes Fachpersonal geprüft werden.

Brand:

Zur Minimierung des Brandrisikos durch Blitzeinschlag ist eine regelmäßige jährliche Prüfung des Blitzschutzkonzepts der eno 152 [10] durch einen Sachverständigen notwendig. Die Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen (Temperatursensoren, Strommesser) nach Kap.8 des Brandschutzdokuments [3] sollte mindestens einmal pro Jahr durch qualifiziertes Fachpersonal geprüft werden.

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 1a: Übersichtskarte der Standorte mit Fotopunkten (FP5 WEA 1,2; FP4 WEA 3,4).

Abbildung 1b: Rundumblick vom Standort FP4.

Abbildung 1c: Rundumblick vom Standort FP5.

Abbildung 2: Maximaler Gefährdungsradius (großer Kreis 476 m, kleiner Kreis: Rotordurchmesser) rings um die WEA 1-4. Die gefährdeten Bereiche sind die Wege innerhalb des Gefährdungskreises.

Abbildung 3: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten der WEA 2. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 476m), der kleine Kreis der Rotorkreis (Durchmesser 158m).

Abbildung 4: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten der WEA 3. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 476m), der kleine Kreis der Rotorkreis (Durchmesser 158m).

Abbildung 5: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten der WEA 4. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 476m), der kleine Kreis der Rotorkreis (Durchmesser 158m).

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Windstatistiken im Windpark Torisdorf-Löwitz (Monate Oktober bis April, langjährige Mittelwerte).

Tabelle 2: Übersicht der betrachteten WEA und der gefährdeten Wegebereiche

Tabelle 3: Individualrisiko pro Jahr bei Eisabfall

Tabelle 4: Kollektivrisiko pro Jahr bei Eisabfall

Tabelle 5: Individualrisiko pro Jahr bei Bauteilversagen

Tabelle 6: Kollektivrisiko pro Jahr bei Bauteilversagen

Tabelle 7: Individualrisiko pro Jahr bei Brand

Tabelle 8: Kollektivrisiko pro Jahr bei Brand

Tabelle 9: Unfallrisiken beim Betrieb der WEA 1

Literaturverzeichnis

- (1) https://de.wikipedia.org/wiki/Minimale_endogene_Mortalität, Abruf vom 22.2.2019
- (2) Beschreibung der Maßnahmen bei Eisansatz gültig für alle Windenergieanlagen der eno energy systems GmbH. Rev. 5. Juli 2020, eno energy systems gmbh..
- (3) Beschreibung des Brandschutzkonzepts für die Windenergieanlage (WEA) eno 152, eno 160, eno 170. Rev.1, August 2020; eno energy systems gmbh
- (4) Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. Ergebnisse und Empfehlungen aus einem EU – Forschungsprojekt. H. Seifert, Deutsches Windenergie – Institut GmbH, Wilhelmshaven, Deutschland. Oktober 1999
- (5) Wind Energy in Cold Climate, WECO. Seifert, Henry; Tammelin, Bengt: Icing of wind turbines: Final report; Jou2-CT93-0366 /Deutsches Windenergie-Institut, Wilhelmshaven (Herausgeber); Finnish Meteorological Institute, Helsinki. Wilhelmshaven: DEWI, 1997,
- (6) https://windenergietage.de/2019/wp-content/uploads/sites/4/2019/11/28WT06_F24_1220_Weidmueller_BLADEcontrol.pdf. Abruf vom 2.12.2020.
- (7) <https://de.wikipedia.org/wiki/ALARP>, Abruf vom 22.2.2019
- (8) Verkehrsunfälle: Zeitreihen 2019; Artikelnummer: 5462403197004 vom 14.Juli 2020. Statistisches Bundesamt 2020.
- (9) <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeugbestand>
- (10) Blitz- und Überspannungsschutzkonzept für eine Windenergieanlage (WEA) vom Typ eno152, eno 160, eno 170. Rev.1. Technische Dokumentation Windenergieanlagen, alle Anlagentypen Sicherheitskonzept, Beschreibung der Sicherheitssysteme. eno energy systems GmbH. 19.8.2020
- (11) Siehe Kap. 4.2, Seite 6 in: Maßnahmen bei Eisansatz, Rev.5 (eno_wtg_Maßnahmen_bei_Eisansatz_de_rev5.docx): eno energy systems GmbH. Juli 2020.
- (12) GBE Hest 52-Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) 2013
- (13) Trbojevic V.M. Risk Criteria in EU, ESREL 2005. 27-30 June 2005
- (14) Störfall Kommission. Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41, 2004
- (15) Hauptmanns, U., Marx, M. : Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen, Verlag VdTÜV-Band 16, 2010

- (16) 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.
- (17) WKA Störfallregister. <http://mrandreasmarciniak.blogspot.com/2016/08/liste-von-unfallen-windkraftanlagen-in.html>. Abruf vom 10.2.2020
- (18)** WKA Störfallregister. <https://www.vernunftkraft.de/unfaelle-mit-windkraftanlagen/>. Abruf vom 25.11.2020

Anhang

Beschreibung der Maßnahmen bei Eisansatz gültig für alle Windenergieanlagen der eno energy systems GmbH. Rev. 5. Juli 2020, eno energy systems gmbh

Beschreibung der Maßnahmen bei Eisansatz

gültig für alle Windenergieanlagen der eno energy systems GmbH

eno energy systems GmbH
 Am Strande 2e
 18055 Rostock
 Tel.: (+49) (0)381 203792-0
 Fax.: (+49) (0)381 203792-101
 info@eno-energy.com
 www.eno-energy.com

Autor: Gunnar Freese	Bearbeiter: Tony Maaß	Freigabe: Robin Ahrens
		
Ort, Datum	Ort, Datum	Ort, Datum
Rostock, den 10.07.2009	Rostock, den 28.07.2020	Rostock, den 03.08.2020

Dieses Dokument ist nur gültig mit entsprechendem Freigabevermerk.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		1 von 7

Vermerk zur Aktualisierung

Das Dokument – *eno_wtg_Maßnahmen_bei_Eisansatz_de_rev5.docx* – unterliegt keiner automatischen Aktualisierung und dient lediglich der Information.

Durch Produktentwicklung und Optimierung können sich Inhalte des Dokumentes, ohne vorherige Ankündigung, ändern.

Jeder Nutzer des Dokumentes hat eigenverantwortlich sicherzustellen, dass er die jeweils aktuelle und gültige Ausgabe des Dokumentes nutzt.

Schutzvermerk entsprechend ISO 16016**Copyright © 2020 eno energy systems GmbH**

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokumentes – *eno_wtg_Maßnahmen_bei_Eisansatz_de_rev5.docx*, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster-, oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		2 von 7

Änderungsverlauf

Rev.	Datum	Name	Änderungen
0	10.07.09	Gunar Freese	Dokument erstellt
1	26.04.10	Henri Wasnick	Verweis Gutachten TÜV Nord/ Anhang
2	02.04.2012	Stefan Bockholt	Verallgemeinerung auf alle Maschinen der eno energy systems GmbH. Detaillierung der internen Eisansatzerkennung. Detaillierung der Blattschwingungsüberwachung.
3	31.03.2017	Simon Wittkopf	Alle Seiten – Layoutanpassung, kleine Korrekturen Seite 4 – Gültigkeit hinzugefügt
4	17.12.2019	Alexander Gerds	Gültigkeit angepasst
5	28.07.2020	Tony Maaß	Erweiterung Gültigkeit

Inhaltsverzeichnis

1	Gültigkeit	4
2	Einleitung.....	4
3	Allgemeine Erläuterungen.....	4
4	Maschineninterne Methoden zur Eiserkennung.....	5
4.1	Überwachung der Leistungskurve	5
4.2	Vibrationsüberwachung	6
5	Zusatzmodule	6
5.1	Eissensor (Labkotec).....	6
5.2	Bestimmung der Blattmasse mittels Eigenfrequenzüberwachung (BLADEcontrol)	7

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		3 von 7

1 Gültigkeit

Dieses Dokument ist für die folgenden Windenergieanlagentypen der eno energy systems GmbH gültig:

- eno 82 (alle Nabenhöhen)
- eno 92 (alle Nabenhöhen)
- eno 100 (alle Nabenhöhen)
- eno 114 (alle Nabenhöhen)
- eno 126 (alle Nabenhöhen)
- eno 136 (alle Nabenhöhen)
- eno 15x, eno 16x, eno 17x (alle Nabenhöhen)

2 Einleitung

Das vorliegende Dokument beschreibt prinzipiell die Einrichtungen an Windenergieanlagen (WEA) der eno energy systems GmbH zur Detektion von Eisansatz an den Rotorblättern. Die Erkennung von Eisansatz dient zum einen dem Schutz der Maschine vor übermäßigen Belastungen durch gewichtsbedingte und aerodynamische Unwuchten und zum anderen dem Schutz von Personen, welche sich evtl. im Umfeld der Maschine aufhalten. Hierbei gilt ein Bereich von weniger als 1,5-mal der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser als gefährdender Bereich durch herabfallendes Eis.

3 Allgemeine Erläuterungen

Es ist zu beachten, dass das von den Rotorblättern sich lösende Eis entsprechend der Windrichtung und Windgeschwindigkeit abgetrieben wird.

Sofern nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich Personen oder Objekte, z. B. öffentliche Straßen, in einer geringeren Entfernung von der WEA befinden als vorstehend beschrieben, muss die WEA stillgesetzt werden, wenn bei entsprechender Wetterlage die Gefahr einer Vereisung der Rotorblätter besteht.

Unabhängig von der Methodik der Eisansatzerkennung sollte im Bereich um die WEA durch entsprechende Beschilderung auf die Gefahr durch Eisabwurf hingewiesen werden.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		4 von 7

4 Maschineninterne Methoden zur Eiserkennung

Die in Folgenden beschriebenen Methoden „Überwachung der Leistungskurve“ und „Vibrationsüberwachung“ sind standardmäßig auf dem Maschinencontroller integriert und laufen permanent im Hintergrund. Eine zusätzliche Aktivierung oder Parametrierung ist nicht erforderlich.

4.1 Überwachung der Leistungskurve

Bilden sich während des Betriebes Eisschichten an den Rotorblättern, wird das Auftriebsverhalten der Rotorblätter stark negativ beeinflusst und das Verhältnis der abgegebenen Wirkleistung zur Windgeschwindigkeit sinkt.

Dieser Zustand wird innerhalb der Maschinensteuerung durch einen Soll-Ist-Vergleich mit der hinterlegten Leistungskurve erkannt. Der Vergleich der Leistungsdaten erfolgt anhand von 10 Min.-Mittelwerten innerhalb der Steuerung.

Liegen die aktuell gemessenen Leistungsbeiwerte unterhalb der normalen Sollwerte, wird ein Stopp der Maschine eingeleitet. Über einen Vergleich mit der Außentemperatur erfolgt dann zusätzlich die Plausibilisierung auf Eisansatz. Liegt die Außentemperatur unter +4°C, wird die Abweichung von der Sollwertkurve als Eisansatz erkannt. Ein Starten der Maschine ist dann nur bei Temperaturen über +4°C oder nach erfolgter Inspektion vor Ort möglich. Die Temperatur wird mittels eines Außentemperatursensors auf der Gondel dauerhaft überwacht.

Es ist zu beachten, dass diese Methodik zur Eisansatzerkennung vorrangig dem Maschinenschutz dient und diesen Aspekt auch vollumfänglich erfüllt. Sie ersetzt nicht behördliche Auflagen für eine zusätzliche Eiserkennung mittels Eissensorik in besonders exponierten Gebieten. Zur Erfüllung behördlicher Auflagen sind zusätzliche externe Module erforderlich, welche als Option erhältlich sind.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		5 von 7

4.2 Vibrationsüberwachung

Zusätzlich zur Überwachung der Leistungskurve werden in den WEA der eno energy systems GmbH rotordrehfrequente Vibrationen zur Unwuchterkennung überwacht. Sollte es zu einer unzulässigen Unwucht am Rotor kommen, wird die Maschine durch einen automatischen Stopp stillgesetzt.

Liegt die Außentemperatur hierbei unter +4°C, wird die Unwucht als Eisansatz erkannt. Ein Starten der Maschine ist dann nur bei Temperaturen über +4°C oder nach erfolgter Inspektion vor Ort möglich. Die Temperatur wird mittels eines Außentemperatursensors auf der Gondel dauerhaft überwacht.

Es ist zu beachten, dass diese Methodik zur Eisansatzerkennung vorrangig dem Maschinenschutz dient und diesen Aspekt auch vollumfänglich erfüllt. Sie ersetzt nicht behördliche Auflagen für eine zusätzliche Eiserkennung mittels Eissensorik in besonders exponierten Gebieten. Zur Erfüllung behördlicher Auflagen sind zusätzliche externe Module erforderlich, welche als Option erhältlich sind.

5 Zusatzmodule

Für besonders exponierte Gebiete, in denen eine Gefährdung von Personen, z.B. durch Publikumsverkehr oder angrenzende, öffentliche Straßen wahrscheinlich ist, müssen WEA der eno energy systems GmbH mit Zusatzmodulen zur frühen und sicheren Eisansatzerkennung ausgestattet werden. Diese Module verfügen über eine Zertifizierung und entsprechende behördliche Zulassung für diesen Einsatzzweck. Sie erfüllen somit auch behördliche Auflagen zum Stillsetzen der Maschine bei wahrscheinlichem Eisansatz.

5.1 Eissensor (Labkotec)

Bei diesem System wird ein Eissensor auf der Gondel installiert. Der Sensor misst die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung. Werden bestimmte Grenzwerte überschritten, die vom Deutschen Wetterdienst festgelegt werden, wird die WEA durch den Betriebsführungsrechner gestoppt. Die WEA kann nur manuell und nach einer Inspektion vor Ort wieder gestartet werden. Das heißt ein Wiedereinschalten der WEA durch Fernwirkung ist nicht möglich. Erst nach visueller Prüfung auf fehlenden Eisansatz vor Ort ist die WEA wieder in Betrieb zu nehmen. Somit ist gesichert, dass die Anlage nicht selbständig wieder anläuft. Ein Wegschleudern von Eis ist somit ausgeschlossen.

Die Stillsetzung und der Wiederanlauf der WEA werden im Fehlerprotokoll der Steuerung erfasst und stehen zum späteren Nachweis zur Verfügung.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		6 von 7

5.2 Bestimmung der Blattmasse mittels Eigenfrequenzüberwachung (BLADEcontrol)

Bei diesem System werden mittels Beschleunigungssensoren die Blatteigenfrequenzen direkt im Rotorblatt überwacht und mit hinterlegten (angelernten) Sollwerten verglichen. Sollten sich diese Eigenfrequenzen unzulässig verschieben, erfolgt eine Warnung an den Maschinencontroller, welcher daraufhin die Maschine stillsetzt.

Eisansatz an den Rotorblättern führt durch Massenzuwachs zu einer solchen Verschiebung der Rotorblatteigenfrequenzen. Wird ein Stopp der Maschine durch derartige Frequenzverschiebungen ausgelöst und die Außentemperatur liegt unter +4°C, schließt der Turbinencontroller auf Eisansatz und setzt die Maschine mit entsprechender Fehlermeldung still. Die Temperatur wird mittels eines Außentemperatursensors auf der Gondel dauerhaft überwacht.

Da die beschriebenen Eigenfrequenzen auch bei Stillstand der Maschine erfasst werden, erkennt dieses System, im Vergleich zu herkömmlichen Systemen, eine Enteisung der Rotorblätter ohne zusätzliche visuelle Inspektion vor Ort. Somit kann die Maschine automatisch wieder Anlaufen, sobald kein Eis mittels der Frequenzfassung mehr erkannt wird. Dieses Verfahren ist behördlich zugelassen und zertifiziert.

Neben der sicheren Eisansatzerkennung und der Möglichkeit des automatischen Anlaufes, bietet das System der Eigenfrequenzüberwachung zusätzlich eine dauerhafte Überwachung auf unzulässige Rotorblattschwingungen. Defekte an Rotorblättern können somit rechtzeitig erkannt werden. Eine statistische Auswertung der Schwingungsdaten im Rahmen eines Blatt-CMS ist ebenfalls optional möglich.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
Gunnar Freese	5	eno WEA		7 von 7