

Risikoanalyse für geplante Windenergieanlagen bei Severin (Mecklenburg-Vorpommern)

Berichtsnummer: WE2023-9-21

Seiten: 40 Seiten + Anhang

Auftragnehmer:

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

Auftraggeber:

eno energy GmbH
Straße am Zeltplatz 7
18230 Ostseebad Rerik

INHALT

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | ZUSAMMENFASSUNG | 3 |
| 2. | EINLEITUNG | 5 |
| 3. | STANDORTBESCHREIBUNG | 6 |
| 3.1 | LAGE | 6 |
| 4. | RISIKOBEWERTUNG | 9 |
| 4.1 | INDIVIDUELLES RISIKO | 9 |
| 4.2 | KOLLEKTIVES RISIKO (GEFÄHRDUNG DES ÖFFENTLICHEN VERKEHRS) | 10 |
| 5. | RISIKOANALYSE | 12 |
| 5.1 | EISWURF UND EISFALL | 12 |
| 5.1.1 | BESTIMMUNG DER EISABWURFWEITEN | 12 |
| 5.1.2 | BESTIMMUNG DES EISFALLRISIKOS | 14 |
| 5.1.3 | MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR EISWURF IM BETRIEB | 19 |
| 5.1.3.1 | ERKENNUNG VON EISANSATZ | 19 |
| 5.1.3.2 | MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR EISWURF BEI WIEDERANLAUF | 19 |
| 5.2 | BAUTEILVERSAGEN | 19 |
| 5.2.1 | ROTORBLATT | 19 |
| 5.2.2 | TURM | 20 |
| 5.2.3 | MAßNAHMEN ZUR MINIMIERUNG DES SCHADENSRIKOS | 20 |
| 5.3 | BRANDGEFÄHRDUNG | 20 |
| 5.3.1 | MAßNAHMEN ZUR MINIMIERUNG DES BRANDRISIKOS | 21 |
| 6. | RISIKOANALYSE UND BEWERTUNG | 22 |
| 6.1 | EISWURF UND EISFALL | 22 |
| 6.1.1 | VEREISUNGSPOTENTIAL | 22 |
| 6.1.2 | GEFÄHRDUNGSRADIUS | 23 |
| 6.1.3 | INDIVIDUALRISIKO | 23 |
| 6.1.3 | KOLLEKTIVRISIKO | 24 |
| 6.2 | RISIKO DURCH BAUTEILVERSAGEN TURM / ROTORBLATT | 25 |
| 6.2.1 | INDIVIDUALRISIKO | 27 |
| 6.2.2 | KOLLEKTIVRISIKO | 28 |
| 6.3 | RISIKO DURCH BRAND | 29 |
| 6.3.1 | INDIVIDUALRISIKO | 30 |
| 6.3.2 | KOLLEKTIVRISIKO | 32 |
| 7. | MODELL- UND DATENUNSIKERHEITEN | 34 |
| 8. | BEWERTUNG UND EMPFEHLUNGEN | 35 |
| 9 | VERWENDETE ABKÜRZUNGEN | 36 |
| 10 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 37 |
| 11 | TABELLENVERZEICHNIS | 38 |
| | LITERATURVERZEICHNIS | 39 |

ANHANG

Standortdokumentation

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

Brandschutzkonzept eno 152, eno 160, eno 170, Rev.2

Blitz- und Überspannungsschutzkonzept für eine Windenergieanlage (WEA) vom Typ eno152, eno 160, eno 170. Rev.1

1. Zusammenfassung

Bei 7 geplanten Windenergieanlagen vom Typ eno 160 (WEA 5, 11, 12) und eno152 zwischen den Ortschaften Friedrichsruhe im Nordwesten und Severin im Süden (Landkreis Ludwigslust-Parchim) wird der erforderliche Mindestabstand zu öffentlichen Verkehrsflächen

- B321: Abschnitt Crivitz – Parchim (von WEA 1, 3, 6, 9);
- Verbindungsstraße Severin - Frauenmark (von WEA 4 ,5, 11)

bzgl. Eisabwurf, sowie Blatt- und Turmversagen und Brandgefährdung (1,5 x Nabhöhe+Rotordurchmesser) unterschritten. Hierzu werden im Folgenden Berechnungen zur Eisabfallwahrscheinlichkeit bei stehendem Rotor im Umkreis der WEA beschrieben und die gefährdeten Bereiche in Kartenform dargestellt. Die Gefährdung durch Bauteilversagen und Brand wird separat bewertet.

Die Risikoabschätzung ergab, dass die Risiken bzgl. Bauteilversagen und Brand im unkritischen Bereich liegen. Bei Eisfall liegen die Risikowerte im tolerablen Bereich. Es sind daher folgende Maßnahmen vorzusehen, um das Gefährdungsrisiko bei **Eiswurf und Eisfall** zu minimieren:

1. Installation eines Systems zur automatischen Erkennung von Eisansatz an den Rotorblättern und Abschaltung der WEA nach Vorgabe des Anlagenherstellers [2].
2. Vor dem Wiederanlaufen 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, bzw. zu den Anlagen.

Bzgl. Bauteilversagen und Brand liegen die Risiken (Individual- und Kollektivrisiko) im unkritischen Bereich. Zur Risikominimierung bzgl. Eisfall, Brand und Bauteilversagen werden zusätzlich die folgenden Maßnahmen empfohlen:

Bauteilversagen Rotorblatt / Turm

Durch eine Schwingungsüberwachung im Turm und in den Rotorblättern können Schäden oder Eisansatz 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

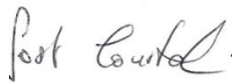
Eine regelmäßige Prüfung der Sicherheitseinrichtungen zum Brandschutz und eine Prüfung des Blitzschutzkonzepts (einmal jährlich) durch qualifiziertes Fachpersonal ist erforderlich (siehe Kap. 8).

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 21.9.2023



(Dr. Jost Constantin)

2. Einleitung

Die eno energy GmbH plant südöstlich der Ortschaft Friedrichsruhe, bzw. nördlich und östlich von Severin (Landkreis Ludwigslust-Parchim, Mecklenburg-Vorpommern) die Errichtung von insgesamt 16 Windenergieanlagen der Typen eno 160 und eno152 mit 165 m Nabenhöhe und 160 m, bzw. 152 m Rotordurchmesser. Bei 7 Anlagen wird der erforderliche Mindestabstand (1,5 mal (Nabenhöhe + Rotordurchmesser oder 488 m für die eno160 und 476 m für die eno152) zu nahe gelegenen öffentlichen Wegen, hier der Bundesstraße B321 und der Verbindungsstraße zwischen Severin und Frauenmark 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. Abstände größer als 1,5 x (Nabenhöhe + Rotordurchmesser) zu öffentlichen Verkehrswegen gelten als ausreichend, um eine Gefährdung auszuschließen. 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 von 165 m und einem Rotordurchmesser von 152 und 160 m sind daher auftretende Abstände unter $1,5 \times (165+160) \text{ m} = 487,5 \text{ m}$ für die eno160, bzw. $1,5 \times (165+152) \text{ m} = 475,5 \text{ m}$ für die eno152 zu öffentlichen Verkehrswegen gesondert zu überprüfen. Betroffen hiervon sind die oben erwähnten Straßenabschnitte.

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

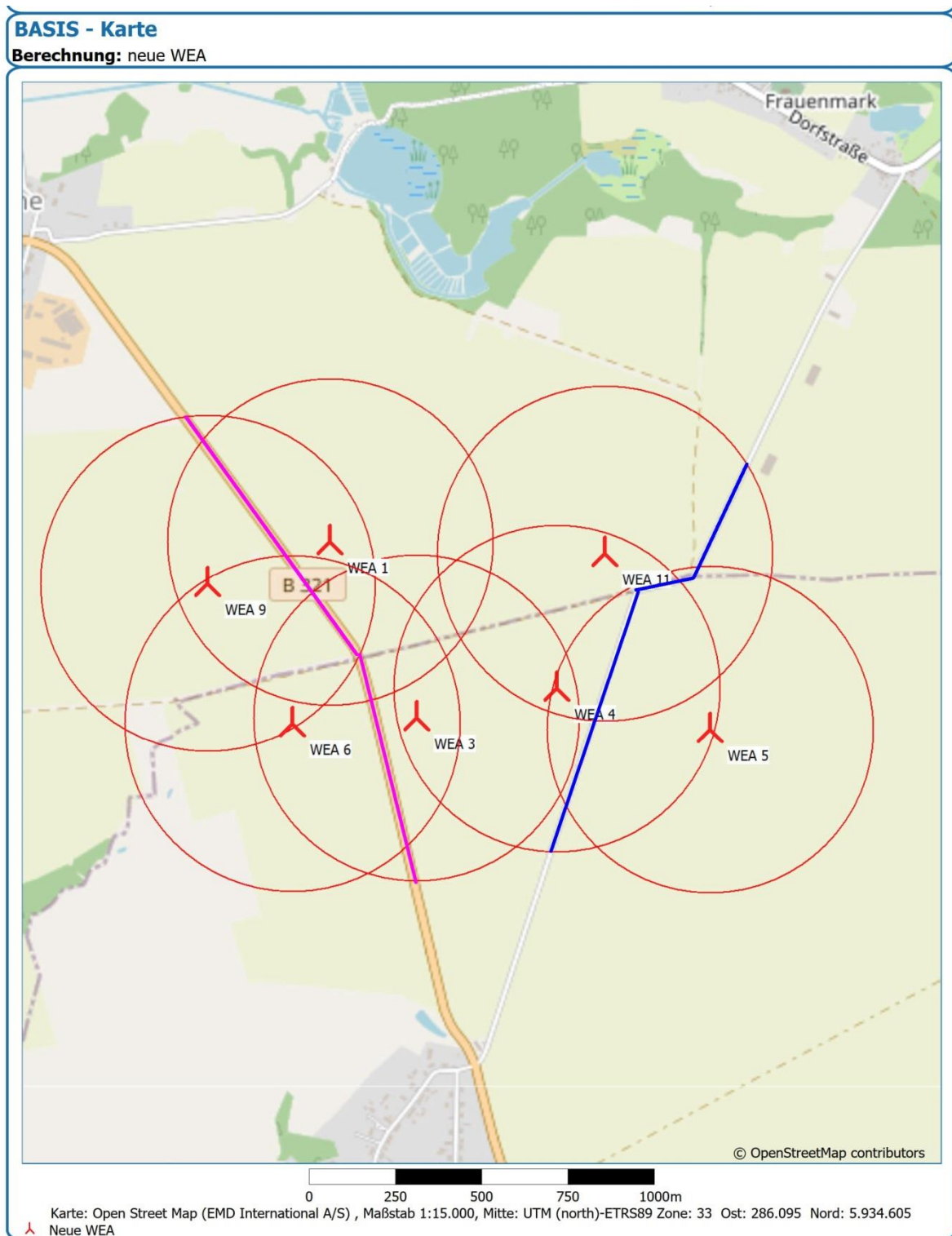
Der geplante Windpark liegt im westlichen Mecklenburg-Vorpommern nördlich der Ortschaft Severin (Gemeinde Domsühl, Landkreis Parchim-Ludwigslust) auf flachem, intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen. Weitere Orte in der näheren Umgebung sind Friedrichsruhe und Frauenmark im Norden, Friedrichsruhe Dorf im Westen, sowie Kossebad und Grebbin im Osten. Die Bundesstraße B321 verläuft im westlichen Bereich der Parkfläche. Die Stadt Schwerin ist ca. 25 km entfernt (im Nordwesten), Parchim liegt ca. 8 km südöstlich.

Die unmittelbare Standortumgebung ist gekennzeichnet durch großflächige, landwirtschaftliche Nutzflächen. Die Wege und Straßen, sowie die Ortsrandbereiche sind verbreitet von Büschen und Bäumen gesäumt. Insbesondere entlang der B321 verläuft eine dichte Allee mit ausgewachsenen Bäumen. Ca. 3 km im Osten liegt ein größeres geschlossenes Waldgebiet, weitere lockere Baumbestände finden sich rings um die Ortschaften und im Westen ab ca. 2,5 km.

Vier der geplanten Anlagen liegen dicht an der Bundesstraße B321 (WEA 1, 3, 6, 9), 3 Anlagen sind dicht an der Verbindungsstraße Severin – Frauenmark. Die übrigen geplanten Anlagen stehen in ausreichendem Abstand zu öffentlichen Verkehrswegen.

- WEA 1 liegt ca. 120 m nordöstlich der B321;
- WEA 3 liegt ca. 100 m östlich der B321;
- WEA 6 liegt ca. 230 m westlich der B321;
- WEA 9 liegt ca. 210 m südwestlich der B321;
- WEA 4 liegt ca. 120 m westlich der Straße Severin - Frauenmark;
- WEA 5 liegt ca. 330 m östlich der Straße Severin - Frauenmark;
- WEA 11 liegt ca. 130 m nordwestlich der Straße Severin - Frauenmark;

Alle Standorte liegen großräumig gesehen in flachem Gelände mit typischen Höhen zwischen 50 und 70 m NN.



windPRO 3.6.377 | EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

20.09.2023 20:07 / 1



Abbildung 1a: Übersichtskarte der betrachteten Standorte. Für die WEA ist der jeweilige Gefährungskreis eingetragen. (eno 160 WEA 6,9,11: 488m Radius, eno152 WEA 1,3,4,5: 476 m). Farbige sind die gefährdeten Straßenbereiche gekennzeichnet.



Abbildung 1b: Luftbild (nach Google Earth). Unten: Severin; oben links: Friedrichsruhe; rechts daneben: Frauenmark. Die B321 verläuft von Severin nach Norden, die Straße nach Frauenmark zweigt am nördlichen Ortsausgang nach Nordosten ab.

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] gab es in 2019 je 1.000 km Straßenlänge 436 Unfälle mit Personenschaden (außerorts, ohne Autobahnen). Das entspricht einer Unfallhäufigkeit von (gerundet) 0,436 pro Kilometer und Jahr.

Die signifikante Risikoschwelle (10%) liegt dann bei $4,36 \cdot 10^{-2}$ je km und Jahr. Berücksichtigt man die betroffene Weglänge bei den 7 WEA (B321: 1,5 km, Straße Severin Frauenmark 1,38 km), erhält man in Anlehnung an das ALARP Prinzip [7] folgende Risikogrenzwerte:

WEA 1,3,6,9 (Weglänge B321: 1.500 m)

- Obere Grenze: **$6,54 \cdot 10^{-2}$** je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit Personenschaden alle 15,3 Jahre;
- Untere Grenze: **$6,54 \cdot 10^{-3}$** je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit Personenschaden alle 153 Jahre.

WEA 4,5,11 (Weglänge Straße Frauenmark-Severin: 1.380 m)

- Obere Grenze: **$6,02 \cdot 10^{-2}$** je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit Personenschaden alle 16,6 Jahre;
- Untere Grenze: **$6,02 \cdot 10^{-3}$** je WEA und Jahr. Das entspricht einem Unfall mit Personenschaden alle 166 Jahre.

Eine Unfallhäufigkeit kleiner der jeweiligen unteren Grenze ist als unkritisch zu bewerten. Ein Unfallrisiko zwischen oberer und unterer Grenze ist tolerabel, Maßnahmen zur Risikominderung sind jedoch zu prüfen. Bei einem Unfallrisiko größer der oberen Grenze sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Verkehrsdichte im gefährdeten Straßenbereich

Die Verkehrsdichte der B321 bei Zapel, südlich von Crivitz wurde 2015 bestimmt [19]. Im Mittel wurden 5.095 Fahrzeuge pro Tag erfasst (beide Richtungen, Mo-So). Neuere Zählungen waren nicht zu erhalten.

Für die Straße Severin – Frauenmark gibt es keine aktuellen Verkehrszählungen. Aufgrund der räumlichen Lage und der angebundenen Städte und Ortschaften werden für die Abschnitte folgende Verkehrsdichten (beide Fahrtrichtungen) angenommen (Fz: Fahrzeuge inkl. Zweiräder):

- Bundesstraße B321 südlich von Crivitz : 5.095 Fz/Tag (Zählung 2015)
- Verbindungsstraße Severin - Frauenmark: 600 Fz/Tag

Diese Annahmen sind aufgrund der lokalen Siedlungsstruktur (überwiegend ländlich ohne näher angebundene größere Straßen und Städte) als konservativ zu bewerten.

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 beim 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 $1,5x$ (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

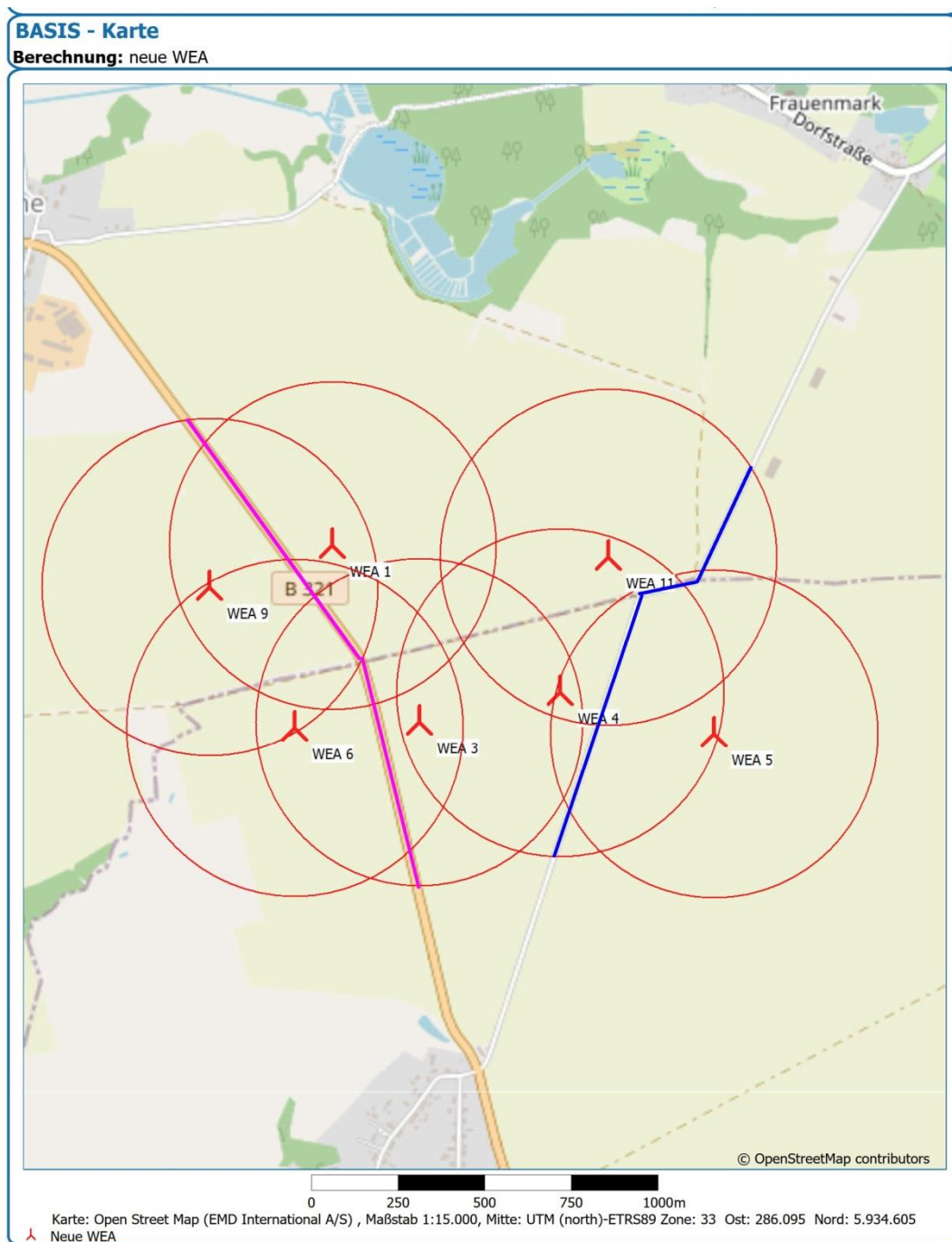
Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe der WEA für verschiedene Windrichtungen und die Verteilung der Häufigkeit der Windrichtungen in einem durchschnittlichen Jahr werden mit Hilfe von Modelldaten (Reanalysedaten ERA 5) ermittelt.

Tabelle 1: Verwendete Windstatistiken für die geplante WEA bei Severin, langjährige Mittelwerte November bis April).

| Richtungssektor | Weibull Parameter A | Windgeschwindigkeit in 165 m Höhe über Grund (Mittel) | Weibull Parameter k | Windrichtung Häufigkeit |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------------------|-------------------------|
| | m/s | m/s | - | Prozent |
| 0 (Nord) | 6,66 | 5,9 | 2,299 | 4,1 |
| 1 | 6,84 | 6,06 | 2,381 | 4,1 |
| 2 | 7,68 | 6,83 | 2,729 | 5,8 |
| 3 (Ost) | 7,93 | 7,08 | 2,979 | 7,4 |
| 4 | 8,1 | 7,23 | 2,967 | 7,3 |
| 5 | 8,17 | 7,29 | 2,967 | 7 |
| 6 (Süd) | 8,4 | 7,48 | 2,779 | 7,3 |
| 7 | 9,25 | 8,23 | 2,764 | 10,6 |
| 8 | 10,24 | 9,1 | 2,654 | 15,2 |
| 9 (West) | 10,3 | 9,14 | 2,506 | 14,7 |
| 10 | 8,93 | 7,91 | 2,361 | 11 |
| 11 | 7,16 | 6,34 | 2,111 | 5,5 |
| Mittel windrichtungsgewichtet | 8,81 | 7,81 | 2,432 | 100 |

5.1.2 Bestimmung des Eisfallrisikos

Die folgende Karte zeigt den Standort der geplanten WEA vom Typ eno 160, (H=165m, D=160m), bzw. eno 152 und den maximalen Abstandskreis (1,5 x (H+D), Radius 488 m, bzw. 476 m). Die Länge der betroffenen Straßenbereiche ist blau markiert.



windPRO 3.6.377 | EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

20.09.2023 20:07 / 1 windPRO

Abbildung 2: Maximaler Gefährdungsradius (großer Kreis 1,5x (H+D), 488 m, bzw. 476m) rings um die betrachteten sieben WEA. Die gefährdeten Straßenbereiche sind rosa (B321, 1.500 m), bzw. blau (Nebenstraße, 1.380m) markiert.

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 | 285.736 | 5.934.903 |
| 2 | WEA03 | eno 152 | 165,0 | 152,0 | 285.964 | 5.934.380 |
| 3 | WEA06 | eno 160 | 165,0 | 160,0 | 285.602 | 5.934.380 |
| 4 | WEA09 | eno 160 | 165,0 | 160,0 | 285.374 | 5.934.798 |
| 5 | WEA04 | eno 152 | 165,0 | 152,0 | 286.376 | 5.934.447 |
| 6 | WEA05 | eno 152 | 165,0 | 152,0 | 286.817 | 5.934.307 |
| 7 | WEA11 | eno 160 | 165,0 | 160,0 | 286.534 | 5.934.833 |
| Betroffene Verkehrswege | | | | | | |
| | Bezeichnung | WEA im Abstand < 488/476 m | | | Lage | |
| E1 | Bundestraße B321 Abschnitt Crivitz-Parchim | Nr. 1-4 | | | Östlich WEA 6,9 und westlich von WEA 1, 3 | |
| E2 | Straße Severin – Frauenmark | Nr.5-7 | | | Östlich WEA 4,11; westlich von WEA 5 | |

Aus den Windhäufigkeitsdaten kann die Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisstücken im Umkreis der WEA berechnet werden (vgl. Kap. 5.1.1). Die auf der nächsten Seite dargestellten Karten (für Verkehrsweg E1 und E2) stellen 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 < 80 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).

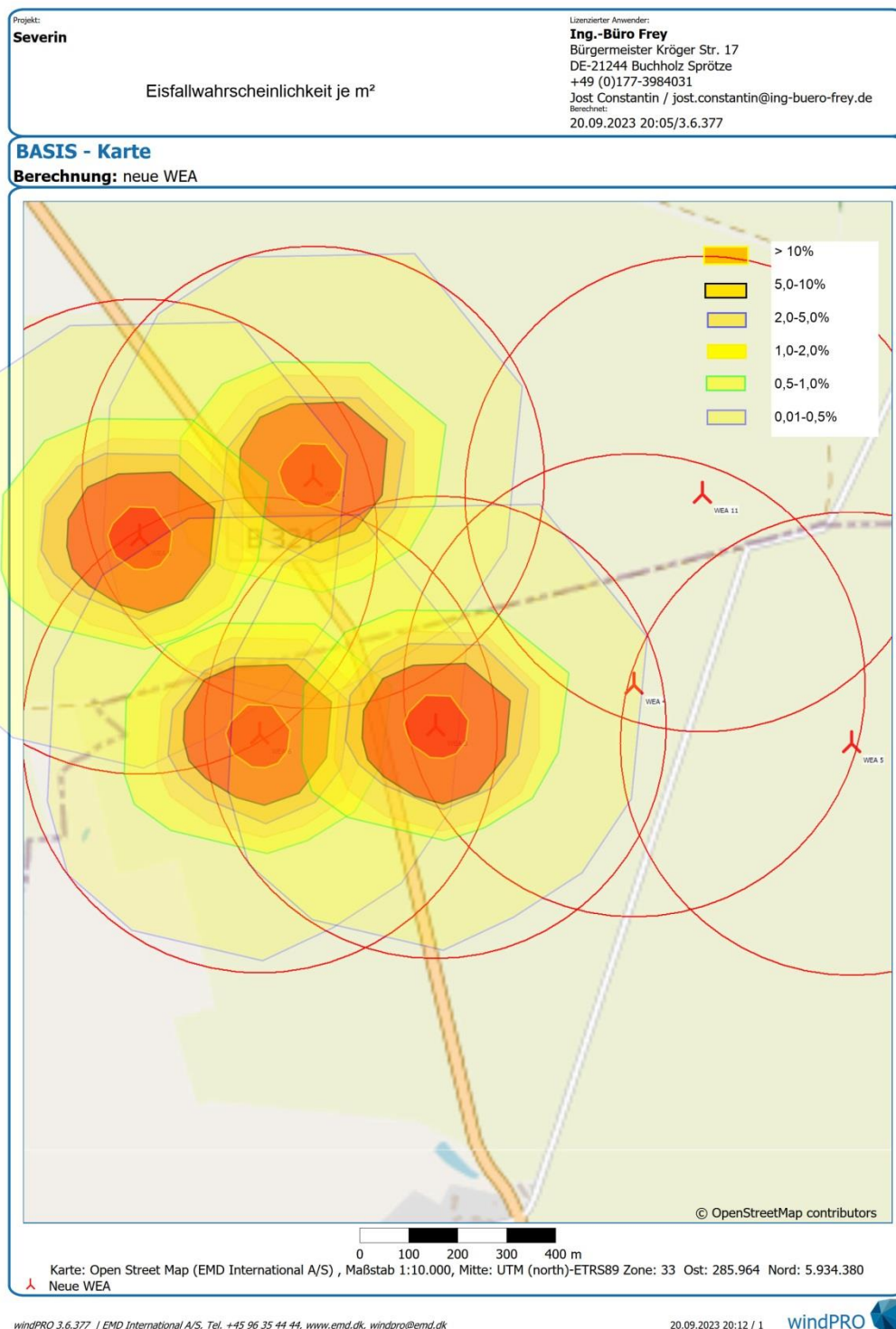


Abbildung 3a: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten an der B321 von WEA01,3,6,9. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 488m/476m).

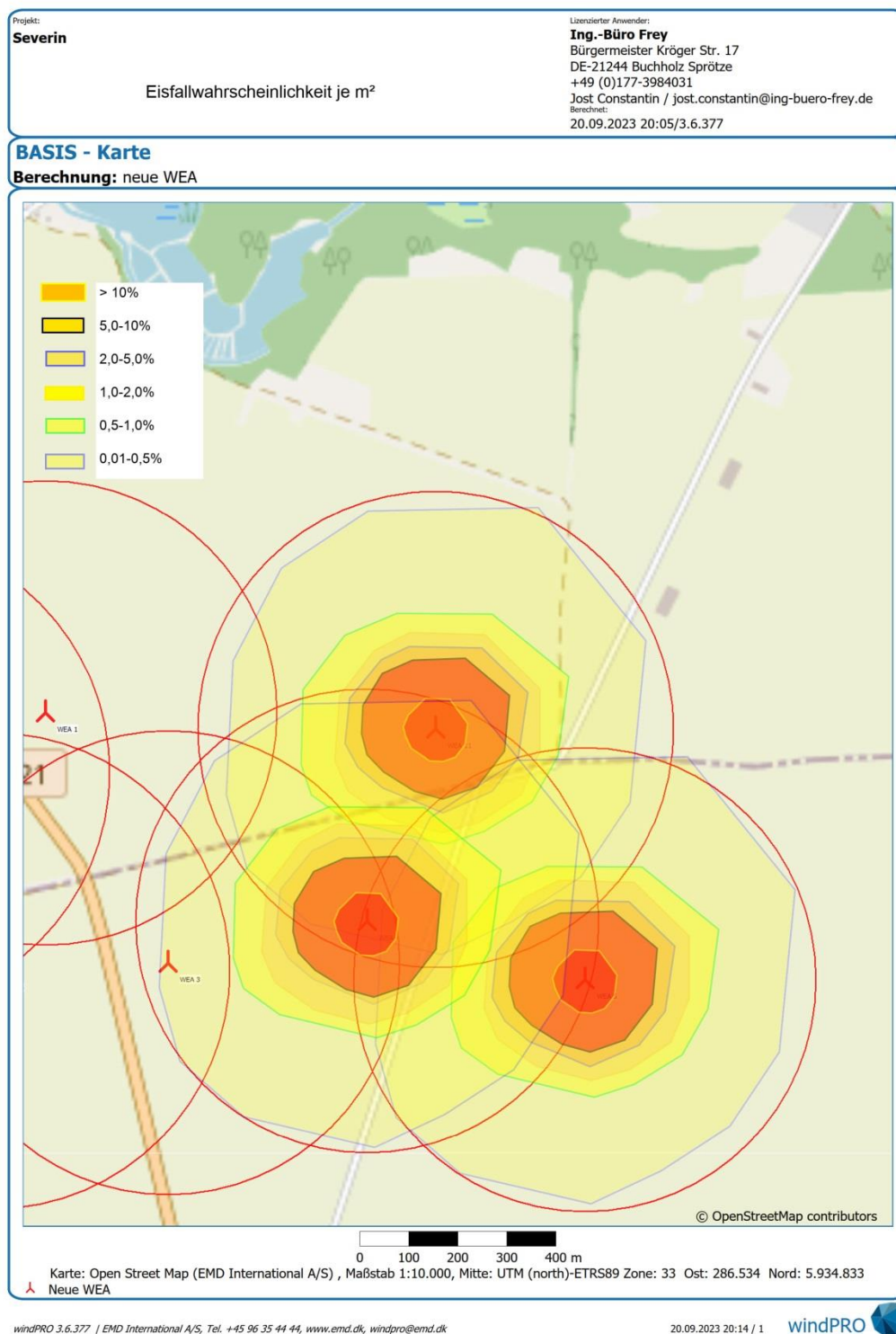


Abbildung 3b: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von WEA 4, 5, 11 an der Straße Severin - Frauenmark. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 488 m/476 m).

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 sollte die Eisfreiheit der Rotorblätter durch Sichtkontrolle vor Ort überprüft werden. Der Wiederanlauf sollte manuell vor Ort erfolgen. Beim Anlaufvorgang kann bei Auftreten von Eisabwurf durch das Personal vor Ort ein sofortiger Stopp erfolgen. Alternativ kann die Eisfreiheit durch ein zertifiziertes Überwachungsmodul (z.B. System Weidmüller [6]) nachgewiesen werden.

5.2 Bauteilversagen

Bei einem Bauteilversagen, insbesondere des Turms oder eines Rotorblatts kann durch abfallende Anlagenteile eine Gefährdung nahegelegener Verkehrswege, hier der benachbarten Verbindungsstraße, 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 Schadensbilder bei in der Vergangenheit aufgetretenen Blattschäden zeigt, dass bei Blattzerstö-

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 $1,5 \times (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotorradius}) = 488 \text{ m}$ für die eno 160 mit 165m Nabenhöhe, bzw. 476 m für die eno 152 - 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 160 und 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 Blitzschlag, 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 mög-

lichst 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 160 und der eno152 [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 Blitzschlag ist eine regelmäßige Prüfung des Blitzschutzkonzepts der eno 160 und der eno152 [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 abfallende 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 den Standort bei Severin ist gemäß den Statistiken des Deutschen Wetterdienstes für 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 des WEA Typs eno 160 (20.106 m²) zu Enercon E-40 6.44 (1.521 m²) beträgt 13,2. D.h. für die eno160 ist mit 13,2 x 10 = 132 Eisobjekten je Vereisung zu rechnen.

Auf das Jahr umgerechnet erhält man damit 132 Eisobjekte x 7 Vereisungsereignisse = 924 Eisabfall Ereignisse pro WEA und Jahr.

Für die eno 152 (Rotordurchmesser 152 m) erhält man analog 119 Eisobjekte je Vereisung und 835 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. 410 m (für flache, flächige Eisobjekte mit maximalen Fallweiten).

Innerhalb dieses Abstands rings um die WEA verlaufen die öffentlichen Straßen (vgl. Abb.2).

6.1.3 Individualrisiko

Auf Basis der in Abbildung 3 (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 (B321), bzw. 30 km/h auf den Nebenstraßen 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 (132 für den Anlagentyp eno 160, eno152: 119);

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 Fahrzeugführer, der die Straße 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, v_f : Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

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 50 km/h (E1), bzw. 30 km/h (E2) |
|--|--------------|---|
| E1: B321 (Länge ca. 1.500 m) | Nr. 1 | $1,72 \cdot 10^{-6}$ |
| | Nr. 2 | $2,19 \cdot 10^{-6}$ |
| | Nr. 3 | $6,50 \cdot 10^{-7}$ |
| | Nr. 4 | $6,86 \cdot 10^{-7}$ |
| | Summe | $5,24 \cdot 10^{-6}$ |
| E2: Straße Severin-Frauenmark (Länge ca. 1.380 m.) | Nr. 5 | $6,45 \cdot 10^{-7}$ |
| | Nr. 6 | $2,28 \cdot 10^{-8}$ |
| | Nr. 7 | $3,73 \cdot 10^{-6}$ |
| | Summe | $1,02 \cdot 10^{-5}$ |

6.1.3 Kollektivrisiko

Das Kollektivrisiko berechnet sich nach den Randbedingungen für das Individualrisiko und nach der geschätzten Verkehrsdichte von Fahrzeugen pro Tag und Fahrtrichtung. 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: E1: 5.092 Fz. pro Tag; E2, 600 Fz./Tag.

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, v_f : Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

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 bei 50 km/h (E1), bzw. 30 km/h (E2) |
|--|--------------|---|
| E1: B321 (Länge ca. 1.500 m) | Nr. 1 | $1,42 \cdot 10^{-2}$ |
| | Nr. 2 | $1,81 \cdot 10^{-2}$ |
| | Nr. 3 | $5,37 \cdot 10^{-3}$ |
| | Nr. 4 | $5,67 \cdot 10^{-3}$ |
| | Summe | $4,33 \cdot 10^{-2}$ |
| E2: Straße Severin-Frauenmark (Länge ca. 1.380 m.) | Nr. 5 | $6,28 \cdot 10^{-3}$ |
| | Nr. 6 | $2,22 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 7 | $3,63 \cdot 10^{-3}$ |
| | Summe | $9,94 \cdot 10^{-3}$ |

Verkehrsweg E1: Ein Kollektivrisiko von $4,33 \cdot 10^{-2}$ bedeutet im Mittel alle 23 Jahre einen Treffer durch Eisabfall (ohne Eiserkennungssystem). Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

Verkehrsweg E2: Ein Kollektivrisiko von $9,94 \cdot 10^{-3}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 101 Jahre einen Treffer durch Eisabfall (ohne Eiserkennungssystem). Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

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 August 2023):

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

2021: 9 Ereignisse

2022: 12 Ereignisse

Bezieht man die Unfälle auf die Gesamtzahl der installierten WEA in dem jeweiligen Jahr, erhält man ein Unfallrisiko durch Bauteilversagen von maximal **4,41 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 50 km/h (B321), bzw. Nebenstraßen 30 km/h) angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht). Zudem wird die gesamte Fläche des Fahrzeugs als Trefferfläche definiert (Annahme: 10 m²).

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; Fahrzeugführer, der die Straße 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: $P_{Aj} = \left(\frac{l_j}{vf}\right) / 24$; l_j : gefährdete Straßenlänge, vf : Fahrzeuggeschwindigkeit.

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 50 km/h (E1), bzw. 30 km/h (E2) |
|---|--------------|---|
| E1: B321 (Länge ca. 1.500 m) | Nr. 1 | $2,74 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 2 | $3,16 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 3 | $2,71 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 4 | $2,86 \cdot 10^{-9}$ |
| | Summe | $1,15 \cdot 10^{-8}$ |
| E2: Straße Severin-Frauenmark (Länge ca. 1.380 m) | Nr. 5 | $4,63 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 6 | $5,27 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 7 | $4,31 \cdot 10^{-9}$ |
| | Summe | $1,42 \cdot 10^{-8}$ |

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 488 m wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen. Daher sind die Trefferwahrscheinlichkeiten für alle Orte identisch.

Verkehrsweg E1: Ein Individualrisiko von $1,15 \cdot 10^{-8}$ bedeutet im Mittel alle 73,8 Mill. Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Bauteilversagen. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

Verkehrsweg E2: Ein Individualrisiko von $1,42 \cdot 10^{-8}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 70,4 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 m^2 Straße im Bereich j pro Bauteilversagen;

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

h_{aVT} Verkehrsdichte: E1: 5.092 Fz. pro Tag; E2, 600 Fz./Tag.

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, v_f : Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

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 50 km/h (E1), bzw. 30 km/h (E2) |
|--|--------------|---|
| E1: B321 (Länge ca. 1.500 m) | Nr. 1 | $2,26 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 2 | $2,61 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 3 | $2,24 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 4 | $2,36 \cdot 10^{-5}$ |
| | Summe | $9,48 \cdot 10^{-5}$ |
| E2: Straße Severin-Frauenmark (Länge ca. 1.380 m.) | Nr. 5 | $4,50 \cdot 10^{-6}$ |
| | Nr. 6 | $5,13 \cdot 10^{-6}$ |
| | Nr. 7 | $4,19 \cdot 10^{-6}$ |
| | Summe | $1,38 \cdot 10^{-5}$ |

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 488 m (bei der geplanten eno160/eno152) wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen.

Verkehrsweg E1: Ein Kollektivrisiko von $9,48 \cdot 10^{-5}$ bedeutet im Mittel alle 10.600 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Bauteilversagen. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

Verkehrsweg E2: Ein Kollektivrisiko von $1,38 \cdot 10^{-5}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 72.300 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Bauteilversagen. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

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: 8 Ereignisse
 2021: 7 Ereignisse
 2022: 5 Ereignisse

Bezieht man die Brandereignisse auf die Gesamtzahl der installierten WEA in dem jeweiligen Jahr, erhält man ein Unfallrisiko durch Brand von maximal **4,11 10⁻⁴** pro Jahr (für 2018 mit 29.213 installierten Anlagen).

6.3.1 Individualrisiko

Wie beim Bauteilversagen wird konservativ eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h angenommen (was die Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höheren Fahrtgeschwindigkeit deutlich erhöht). Der Gefährdungsbereich auf der öffentlichen Straße beträgt ca. 1.000 m.

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 m² Straße im Bereich j pro Brandereignis;

A_T Trefferfläche des Fahrzeugs: Gesamtfläche ca. 10 m².

P_{VA} Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit; Fahrzeugführer, der die Straße einmal pro Tag an 225 Tagen passiert (Hin- und Rückweg). $P_{VA} = (225 * 2)/365$

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 : gefährdete Straßenlänge.

Damit erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Indivi-
dualrisiko. 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 50 km/h (E1), bzw. 30 km/h (E2) |
|--|--------------|---|
| E1: B321 (Länge ca. 1.500 m) | Nr. 1 | $2,55 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 2 | $2,94 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 3 | $2,52 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 4 | $2,66 \cdot 10^{-9}$ |
| | Summe | $1,07 \cdot 10^{-8}$ |
| E2: Straße Severin- Frauenmark (Länge ca. 1.380 m. | Nr. 5 | $4,31 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 6 | $4,90 \cdot 10^{-9}$ |
| | Nr. 7 | $4,01 \cdot 10^{-9}$ |
| | Summe | $1,32 \cdot 10^{-8}$ |

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 488/476 m (bei den geplanten eno160/eno152) wird die gleiche Auf-
treffwahrscheinlichkeit angenommen.

Verkehrsweg E1: Ein Individualrisiko von $1,07 \cdot 10^{-8}$ bedeutet im Mittel alle 93,7 Mill. Jahre ei-
nen lebensbedrohlichen Treffer durch Brand. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der
Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

Verkehrsweg E2: Ein Individualrisiko von $1,32 \cdot 10^{-8}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 75,6 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 (1.000 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: E1: 5.092 Fz. pro Tag; E2, 600 Fz./Tag.

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 : Länge des Gefährdungsbereichs, v_f : Geschwindig-
keit des Fahrzeugs.

Damit erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellte Trefferhäufigkeit pro Jahr (Indivi-
dualrisiko. 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 50 km/h (E1), bzw. 30 km/h (E2) |
|--|--------------|---|
| E1: B321 (Länge ca. 1.500 m) | Nr. 1 | $2,11 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 2 | $2,43 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 3 | $2,08 \cdot 10^{-5}$ |
| | Nr. 4 | $2,20 \cdot 10^{-5}$ |
| | Summe | $8,82 \cdot 10^{-5}$ |
| E2: Straße Severin- Frauenmark (Länge ca. 1.380 m. | Nr. 5 | $4,19 \cdot 10^{-6}$ |
| | Nr. 6 | $4,77 \cdot 10^{-6}$ |
| | Nr. 7 | $3,90 \cdot 10^{-6}$ |
| | Summe | $1,29 \cdot 10^{-5}$ |

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 488 m/476 m (bei der eno160/eno152) wird die gleiche Auftreffwahrscheinlichkeit angenommen.

Verkehrsweg E1: Ein Kollektivrisiko von $8,82 \cdot 10^{-5}$ bedeutet im Mittel alle 11.300 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Brand. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

Verkehrsweg E2: Ein Kollektivrisiko von $1,29 \cdot 10^{-5}$ bei E2 bedeutet im Mittel alle 77.700 Jahre einen lebensbedrohlichen Treffer durch Brand. Eine Angabe des Zeitpunkts, zu dem sich der Treffer ereignet, ist nicht ableitbar.

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 sieben WEA. Fettdruck: Werte im tolerablen Bereich.

| Risiko Unfall | Eisfall | Bauteilversagen | Brand | Oberer Grenzwert | Unterer Grenzwert |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| E1 (B321) | | | | | |
| Individualrisiko | 5,24 10⁻⁶ | 1,15 10 ⁻⁸ | 1,07 10 ⁻⁸ | 1,0 10 ⁻⁶ | 1,0 10 ⁻⁵ |
| Kollektivrisiko | 4,33 10⁻² | 9,48 10 ⁻⁵ | 8,82 10 ⁻⁵ | 6,54 10 ⁻³ | 6,54 10 ⁻² |
| E2 (Severin-Frauenmark) | | | | | |
| Individualrisiko | 1,02 10⁻⁵ | 1,42 10 ⁻⁸ | 1,32 10 ⁻⁸ | 1,0 10 ⁻⁶ | 1,0 10 ⁻⁵ |
| Kollektivrisiko | 9,94 10⁻³ | 1,38 10 ⁻⁵ | 1,29 10 ⁻⁵ | 6,02 10 ⁻³ | 6,02 10 ⁻² |

An den Verkehrswegen E1 und E2 liegen die Risikowerte für Eisfall im tolerablen Bereich (Individualrisiko zwischen 1,0 10⁻⁵ und 1,0 10⁻⁶, Kollektivrisiko zwischen 6,02 10⁻³ und 6,02 10⁻² bei E2 und zwischen 6,54 10⁻³ und 6,54 10⁻³ bei E1.). Der Individualwert bei Eisfall liegt bei E2 mit 1,02 10⁻⁵ ganz geringfügig oberhalb des tolerablen Bereichs.

Nach dem ALARP Prinzip [7] sind daher weiterführende Nachweise zur Risikominderung zwingend erforderlich. Folgende Maßnahmen werden 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 160/eno152 erhältlich, siehe [2, Kap.5.2].

Darüber hinaus sollten zur Risikominderung in Bezug auf Eisansatz und Bauteilschäden, sowie Brand an allen untersuchten sieben WEA folgende technische Maßnahmen durchgeführt, bzw. eingesetzt werden:

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 160 / eno152 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 160 / 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 betrachteten Standorte. Für die WEA ist der jeweilige Gefährdungskreis eingetragen. (eno 160 WEA 6,9,11: 488m Radius, eno152 WEA 1,3,4,5: 476 m). Farblich sind die gefährdeten Straßenbereiche gekennzeichnet.

Abbildung 1b: Luftbild (nach Google Earth). Unten: Severin; oben links: Friedrichsruhe; rechts daneben: Frauenmark. Die B321 verläuft von Severin nach Norden, die Straße nach Frauenmark zweigt am nördlichen Ortsausgang nach Nordosten ab.

Abbildung 2: Maximaler Gefährdungsradius (großer Kreis $1,5x(H+D)$, 488 m) rings um drei der geplanten WEA. Die gefährdeten Straßenbereiche sind rosa (B321, 1.500 m), bzw. blau (Nebenstraße, 1.380m) markiert.

Abbildung 3a: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten an der B321 von WEA01,3,6,9. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 488m/476m).

Abbildung 3b: Karte der Eisfallwahrscheinlichkeiten von WEA 4, 5, 11 an der Straße Severin - Frauenmark. Der große rote Kreis ist der maximale Gefährdungsbereich (Radius 488 m/476 m).

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Windstatistiken für die geplante WEA bei Severin, langjährige Mittelwerte (November bis April).

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: Tabelle 9: Unfallrisiken beim Betrieb der sieben WEA. Fettdruck: Werte im tolerablen Bereich.

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.2, August/Dezember 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

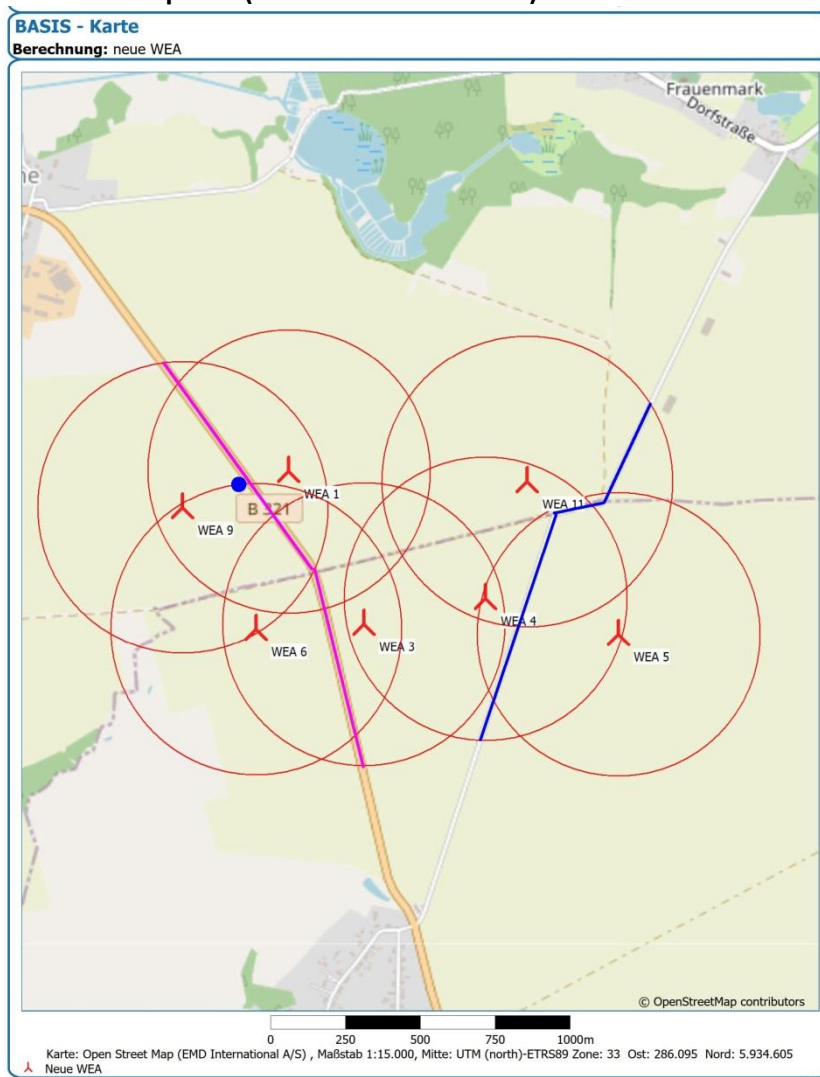
- (16) Cattin, R. et al.. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions. IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Bern 2009.
- (17) WKA Störfallregister. <http://mrandreasmarciniak.blogspot.com/2016/08/liste-von-unfallen-windkraftanlagen-in.html>. Abruf vom 10.2.2020
- (18) WKA Störfallregister. <https://www.vernunftkraft.de/unfaelle-mit-windkraftanlagen/>. Abruf vom 25.2.2023
- (19) Straßenverkehrszählung an der B321 bei Zapel (2015). Landesamt für Straßenbau und Verkehr M-V, Rostock

Anhang

- Standortdokumentation
- Beschreibung der Maßnahmen bei Eisansatz gültig für alle Windenergieanlagen der eno energy systems GmbH. Rev. 5. Juli 2020, eno energy systems gmbh
- Brandschutzkonzept eno 152, eno 160, eno 170, Rev.2
- Blitz- und Überspannungsschutzkonzept für eine Windenergieanlage (WEA) vom Typ eno152, eno 160, eno 170. Rev.1

Fotodokumentation: Planung Severin nahe der Bundesstraße

Karte mit Fotopunkt (blauer Kreis bei WEA 9)



windPRO 3.6.377 | EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

20.09.2023 20:07 / 1 windPRO



B321 Richtung Nordwesten.



B321 Richtung Nordosten (Standort WEA 1).



Blick nach Ostsüdost mit B321.



Blick nach Südost mit B321.




Blick nach Süden Richtung WEA6.

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 |

Datum: 10.11.2020

Brandschutzkonzept

eno_P6_Brandschutz_de_rev2.docx



Beschreibung des Brandschutzkonzepts für die Windenergieanlage (WEA)

eno 152
eno 160
eno 170

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: Tony Maaß | Bearbeiter: Tony Maaß | Freigabe: Robin Ahrens |
| | | GENEHMIGT Von Robin Ahrens , 11:48, 11.12.2020 |
| Ort, Datum | Ort, Datum | Ort, Datum |
| Rostock, den 27.01.2020 | Rostock, den 10.12.2020 | Rostock, den 11.12.2020 |

Dieses Dokument ist nur mit entsprechendem Freigabevermerk gültig.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| | | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 1 von 18 |

Datum: 10.11.2020

Brandschutzkonzept

eno_P6_Brandschutz_de_rev2.docx



Vermerk zur Aktualisierung

Das Dokument - *eno_P6_Brandschutz_de_rev2.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_P6_Brandschutz_de_rev2.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: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 2 von 18 |

Änderungsverlauf

| Rev. | Datum | Name | Änderungen |
|------|------------|----------------|---|
| 0 | 27.01.2020 | Tony Maaß | Alle Seiten – Neues Dokument |
| 1 | 19.08.2020 | Christin Selig | Änderung der Anlagenbezeichnung eno 150 in eno 152; Anpassung Tabelle 7-1 |
| 2 | 10.12.2020 | Tony Maaß | Anpassung Tabelle 7-1 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 1 | Gesetze, Regeln, Vorschriften und Verordnungen | 5 |
| 2 | Gültigkeit | 6 |
| 3 | Einleitung..... | 6 |
| 4 | Aufgabenstellung..... | 6 |
| 5 | Geltungsbereich | 6 |
| 6 | Grundsätzlich zum Brandschutz an der Windenergieanlage | 7 |
| 6.1 | Voraussetzungen für die Betrachtung | 7 |
| 6.2 | Personenschutz | 8 |
| 6.3 | Objektschutz..... | 9 |
| 7 | Beschreibung der Windenergieanlage | 10 |
| 7.1 | Funktion der Windenergieanlage | 10 |
| 7.2 | Betrieb der Windenergieanlage | 10 |
| 7.3 | Beschreibung der Einrichtung | 11 |
| 7.4 | Technische Daten..... | 11 |
| 7.5 | Brandlasten in der Windenergieanlage | 12 |
| 7.6 | Rauch- und Wärmeabfuhr | 13 |
| 7.7 | Umgebungsbedingungen | 13 |
| 8 | Angaben zu Sicherheitseinrichtung in der Windenergieanlage | 14 |
| 9 | Verhalten bei Brand, Löschen der Windenergieanlage | 15 |
| 9.1 | Alarmieren von Rettungskräften..... | 15 |
| 9.2 | Löschen von Bränden..... | 15 |
| 9.3 | Nachweis der erforderlichen Löschwassermenge sowie der Löschwasserversorgung..... | 15 |
| 10 | Rettung und Bergung | 16 |
| 10.1 | Verhalten im Brandfall während einer Wartung..... | 16 |
| 10.2 | Feuer in Gondel oder Rotor..... | 16 |
| 10.3 | Feuer im Turm | 17 |

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 3 von 18 |

| | | |
|------|---|----|
| 10.4 | Feuer im Turmfuß | 17 |
| 10.5 | Fluchtplan | 17 |
| 10.6 | Rettungswege..... | 18 |
| 10.7 | Flucht und Rettungspläne für Gondel und Turm | 18 |
| 11 | Weitere Angaben..... | 18 |
| 11.1 | Feuerwehrpläne..... | 18 |
| 11.2 | Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung..... | 18 |
| 11.3 | Angaben über Nichtentsprechung von materiellen Anforderungen der Landesbauordnung | 18 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|--------------|------------------------------------|----|
| Tabelle 7-1: | Technische Daten der Anlagen | 11 |
| Tabelle 7-2: | Brandlasten Maschinenhaus | 12 |
| Tabelle 7-3: | Brandlasten Turm | 12 |

Verzeichnis der Abkürzungen

| Abkürzung | Erklärung / Erläuterung |
|-----------|------------------------------------|
| WEA | Windenergieanlage |
| GFK | Glasfaserverstärkte Kunststoffe |
| ZSA | Zentralschmieranlage |
| TLF | Tanklöschfahrzeug |
| VPG | Verwaltungs-Berufsgenossenschaft |
| LE | Löschmitteleinheiten |
| LF | Hilfeleistungslöschgruppenfahrzeug |
| HLF | Löschgruppenfahrzeug |
| ZÜS | zugelassene Überwachungsstelle |

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| | | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 4 von 18 |

1 Gesetze, Regeln, Vorschriften und Verordnungen

Mindestens die in diesem Absatz aufgelistete Gesetzte, Regeln, Richtlinien, Vorschriften und Verordnungen sind bei der Planung und Ausführung von Arbeiten, an den in diesem Dokument benannten Windenergieanlagen, zu beachten und zu befolgen. Darüber hinaus sind weiter nationale und landesspezifische Gesetze und Regeln zu beachten.

| Titel | Name des Dokuments |
|------------------------------|--|
| Gesetzt - ArbSchG | Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG (07.08.1996) |
| Verordnung - BetrSichV | Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV (03.02.2015) |
| Verordnung - ArbStättV | Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV (12.08.2004) |
| Regeln ASR A2.1 | Schutz vor Absturz und herabfallenden Gegenständen, Betreten von Gefahrenbereichen |
| Regel ASR A2.2 | Maßnahmen gegen Brände |
| Regel ASR A3.4/3 | Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme |
| DGUV Vorschrift 1 | Grundsätzliche Prävention (BGV A1) |
| Vorschrift | LärmVibrationArbSchV (06.03.2007) |
| DGUV Vorschrift 3 | Elektrische Anlagen und Betriebsmittel – Unfallverhütungsvorschrift (BGVA3) |
| DGUV Vorschrift 9 | Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz (BGV A8) |
| DGUV Regel 100-500 | Betreiben von Arbeitsmitteln |
| DGUV I 203-007 | Windenergieanlagen (BGI 657) |
| DGUV Vorschrift 112-189 | Benutzung von Schutzkleidung (BGR 189) |
| DGUV Vorschrift 112-198 | Benutzung von persönlicher Schutzausrüstung gegen Absturz (BGR/GUV-R 198) |
| Leitfaden | Windenergieanlagen (WEA) – Leitfaden für den Brandschutz Vds 3523 |
| DGUV Vorschrift 215-515 | Persönliche Schutzausrüstungen (BGI 515) |
| DGUV Regel 112-991 | Benutzung von Fuß- und Knieschutz (BRG 191) |
| Maschinenrichtlinie | Richtlinie 2006/42/EG |
| Gesetzt - ProdSG | Produktsicherheitsgesetz – ProdSG (08.11.2011) |
| Betriebsanleitung | (XX = aktuelle Fassung, höchste Nummer) |
| Wartungscheckliste | (XX = aktuelle Fassung, höchste Nummer) |
| Wartungshandbuch | (XX = aktuelle Fassung, höchste Nummer) |
| Technische Regeln | Technische Regeln für Betriebssicherheit TRBS 1203 – Befähigte Personen |
| Technische Regeln | Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen TRBS 1201 |
| Verordnung -GefStoffV | Gefahrstoffverordnung – GefStoffV (26.11.2010) |
| Abfallverzeichnis-Verordnung | Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis |

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 5 von 18 |

2 Gültigkeit

Dieses Dokument ist für folgende Windenergieanlagentypen der eno energy systems GmbH gültig.

- eno 152 (alle Nabenhöhen)
- eno 160 (alle Nabenhöhen)
- eno 170 (alle Nabenhöhen)

3 Einleitung

Windenergieanlagen sind Bauwerke in denen sich nur während Wartungs- und Servicearbeiten Personen befinden. Sollte es während dieser Zeit zu einem Brand in der Windenergieanlage kommen, hat die Rettung und Bergung von Personen höchste Priorität.

Im folgenden Dokument werden Aussagen und Anweisungen zum Brandschutz, zu in der Windenergieanlage befindliche Brandlasten und zum Verhalten im Brandfall getroffen.

4 Aufgabenstellung

Erstellung eines Brandschutzkonzeptes für eno WEA im Rahmen des Baugenehmigungs-verfahrens.

5 Geltungsbereich

Dieses Brandschutzkonzept gilt für die genannten eno WEA in Serienausführung, bei Errichtung mit einem minimalen Abstand von 1000 m zu Gebäuden oder Anlagen.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 6 von 18 |

6 Grundsätzlich zum Brandschutz an der Windenergieanlage

6.1 Voraussetzungen für die Betrachtung

- die WEA ist gemäß DIN VDE 0105-100 eine abgeschlossene elektrische Betriebsstätte
- die WEA wird nur durch unterwiesene, ausgebildete, geschulte Elektrofachkräfte, bzw. elektrisch unterwiesene Personen oder in deren Begleitung betreten
- Zutritt nur für unterwiesene Betreiber
- es sind mindestens die Gesetze, Regeln und Vorschriften gemäß Absatz 1 zu befolgen
- bei Wartung und Begehung ist die WEA außer Betrieb zu nehmen
- es sind die Angaben und Vorgaben des Betriebshandbuches zu befolgen
- es ist gemäß der Herstellervorgabe die Wartung der WEA durchzuführen und zu dokumentieren; hierbei ist entsprechend des Wartungshandbuches und der Wartungsscheckliste, sowie der jeweiligen Dokumentation der verbauten Komponenten vorzugehen
- die WEA ist in Serienausführung zu belassen
- es dürfen nur original und vom Hersteller freigegebene Ersatzteile eingesetzt werden
- es dürfen keine zusätzlichen Brandlasten in die WEA eingebracht werden
- es dürfen sich keine weiteren Brandlasten im Umfeld der WEA befinden
- die WEA ist in ausreichenden Abstand zu Gebäuden und Anlagen zu errichten
- es ist eine geeignete Zufahrt zur WEA vorhanden
- die Zufahrt ist bei der Rettungsleitstelle bekannt
- ständige Kommunikationsbereitschaft der WEA – Steuerung
- täglich 24 Stunden besetzte Fernüberwachung

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 7 von 18 |

6.2 Personenschutz

Bei Wartungs- und Servicearbeiten ist die WEA außer Betrieb zu nehmen. Das bedeutet, dass sich während des Betriebes der WEA **keine Personen** im Maschinenhaus aufhalten.

Es kommen grundsätzlich drei Auslöser für Feuer in Betracht.

1.) Feuer durch mechanische Störung

Die WEA ist bei Betreten, z.B. für Wartungs- und Servicearbeiten, zu stoppen. Eine Brandentstehung durch mechanische Störungen kann daher für diesen Fall ausgeschlossen werden. Somit besteht hierdurch keine Personengefährdung.

2.) Feuer durch elektrische Störungen

Durch das außer Betrieb setzen der Anlage sind Generator und Leistungselektronik spannungsfrei. Während den Wartungsarbeiten werden nur die elektrischen Antriebe von geschulten und unterwiesenen Personen geschaltet.

Bei Einhaltung der Sicherheitsanforderungen nach VDE 0100 ff sowie der unter Absatz 1 aufgeführten Gesetze, Regeln und Vorschriften ist eine Personengefährdung nicht gegeben.

3.) Feuerauslösung durch Servicearbeiten

Für diesen Fall sind in jeder WEA zwei Feuerlöscher mit min. sechs LE zur Bekämpfung von Entstehungsbränden vorhanden. Dieser ist alle 24 Monate durch eine befähigte Person oder ZÜS zu prüfen. Das Rauchen und der Umgang mit offenem Licht in und um die WEA sind nicht gestattet. Für Schweißarbeiten gelten die entsprechenden Sicherheitsbedingungen.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 8 von 18 |

6.3 Objektschutz

Zu Grunde gelegt wird die ordnungsmäßige Wartung der WEA.

Es sind vier Auslöser für Feuer in Betracht zu ziehen:

1.) Feuer durch mechanische Störungen

Alle wichtigen Komponenten (Getriebe, Generator, Hauptlager, Gondel) werden temperaturüberwacht. Übertemperatur und Überdrehzahl führen zu einem sofortigen Not-Stopp der WEA und Information an die Fernüberwachung.

2.) Feuer durch elektrische Störung

Alle unter Spannung stehenden Komponenten werden mehrfach überwacht (Überspannung, Differenzströme, Erdschlusserkennung).

Der Generator wird von der vorhandenen Regelung ständig auf Plausibilität von Temperatur, Leistung und Drehzahl überwacht.

Sollten Abweichungen bzw. Fehler festgestellt werden, wird die WEA automatisch außer Betrieb genommen und die Fernüberwachung informiert.

3.) Übergreifendes Feuer von umliegenden Gebäuden, Anlagen und Flächen

Dies kann als unwahrscheinlich angenommen werden, da der Turm aus Stahl, bzw. Beton besteht.

4.) Feuer durch Blitzschlag

Die WEA ist mit einem Blitzschutzsystem ausgerüstete, das die Anforderungen der ISO 61400-24 erfüllt. Die Funktionstüchtigkeit des Systems wird regelmäßig im Rahmen der Wartung der WEA überprüft. Sollte es durch einen Blitzschlag dennoch zu Störungen kommen, wird die Anlage automatisch außer Betrieb gesetzt und die Fernüberwachung informiert.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 9 von 18 |

7 Beschreibung der Windenergieanlage

Die eno WEA sind Anlagen, die dem Wind mittels Dreiblattrotor kinetische Energie entnimmt und diese in elektrische Energie wandelt. Sie verfügt über ein mehrstufiges mechanisches Getriebe und einen drehzahlvariablen Synchrongenerator.

7.1 Funktion der Windenergieanlage

Dem Wind wird mittels dreier Rotorblätter kinetische Energie entnommen und über eine an der Rotorwelle montierten Nabe auf die im Maschinenhaus befindliche, langsam drehende, Rotorwelle übertragen. Das Maschinenhaus ist drehbar auf einem Stahlrohrturm montiert. Die Rotorwelle leitet die entnommene Leistung des Windes in ein mechanisches Getriebe ein, in dem die Drehzahl erhöht wird. Der Generator ist mit der schnellen Welle des Getriebes verbunden und wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um. Die elektrische Energie wird über Leistungskabel dem Vollumrichter zugeführt und zum Transformator weitergeleitet. Dieser Transformator realisiert die Anbindung der WEA an das Energieverbundnetz.

7.2 Betrieb der Windenergieanlage

Die WEA ist während des Betriebes unbemannet. Alle regelungstechnischen Abläufe sind automatisiert und können von einer 7 Tage / 24 h besetzten Fernüberwachung kontrolliert werden. Bei Störungen geht die Anlage selbstständig außer Betrieb. Dieses wird durch ein mehrfaches redundantes Sicherheitssystem in jeder Betriebslage ermöglicht.

Bei Servicearbeiten und Begehungen wird die WEA außer Betrieb genommen. Sie darf dabei nur von mindestens zwei bis maximal vier Personen betreten werden, die für diesen Typ der WEA ausgebildet und unterwiesen sind.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 10 von 18 |

7.3 Beschreibung der Einrichtung

Die WEA ist durch ihre bauliche und funktionstechnische Anordnung in zwei Brandabschnitte unterteilt.

Maschinenhaus

In ihm befinden sich Hauptwelle, Getriebe, Generator und Nebenaggregate. Das Maschinenhaus darf nur von unterwiesenen Elektrofachkräften, elektrisch unterwiesenen Personen oder in deren Begleitung betreten werden. Die Bedienung der WEA über deren Steuerung ist nur unterwiesenen Elektrofachkräften, elektrisch unterwiesenen Personen gestattet. Gemäß der DIN VDE 0105-100 gilt es als abgeschlossene elektrische Betriebsstätte.

Turm

Im Turm der WEA befinden sich die Leistungskabel, Frequenzumrichter und Schaltschränke. Er darf nur von unterwiesenen Elektrofachkräften, elektrisch unterwiesenen Personen oder in deren Begleitung betreten werden. Die Bedienung der WEA über deren Steuerung ist nur unterwiesenen Elektrofachkräften, elektrisch unterwiesenen Personen gestattet. Gemäß der DIN VDE 0105-100 gilt es als abgeschlossene elektrische Betriebsstätte.

7.4 Technische Daten

| WEA Typ (Nabenhöhe) | eno 152 | | eno 160 | | | | eno 170 | | |
|---------------------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|--------------------------------|
| Gesamthöhe | 200,0 | 241,0 | 180,0 | 200,0 | 230,0 | 245,0 | 215,0 | 246,0 | m |
| Nabenhöhe | 124,0 | 165,0 | 100,0 | 120,0 | 150,0 | 165,0 | 130,0 | 161,0 | m |
| Rotordurchmesser | 152,0 | | 160,0 | | | | 170,0 | | m |
| max. Rotordrehzahl | 12,0 | | 11,6 | | | | 10,7 | | min ⁻¹ ₁ |
| Umfangsgeschwindigkeit Blattspitze | 95,5 | | 97,2 | | | | 95,8 | | m/s |

Tabelle 7-1: Technische Daten der Anlagen

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 11 von 18 |

7.5 Brandlasten in der Windenergieanlage

Maschinenhaus und Rotor

| Position | Bauteil | Stoff | Menge | Bezeichnung |
|----------|-----------------------------------|----------------------|---------------|--|
| 1 | Rotorblätter | Kunststoffe / Holz | 78 t | Glasfaserverstärkter Kunststoff Kohlefaserverstärkte Kunststoffe |
| 2 | Blattlager (3x) (Laufbahnen+ ZSA) | Schmierfett | 45 kg | Wälzlagerfett |
| 3 | Blattlagerverzahnung (3x) + ZSA | Schmierfett | 6 kg | Verzahnungsschmierstoff |
| 4 | Blattverstellgetriebe (3x) | Öl | je 12 l | Getriebeöl |
| 5 | Turmkopflager /Azimutlager +ZSA | Schmierfett | 16 kg | Wälzlagerfett |
| 6 | Azimutlagerverzahnung | Schmierfett | 4 kg | Verzahnungsschmierstoff |
| 7 | Azimutgetriebe (8x) | Öl | je 30,0 l | Getriebeöl |
| 8 | Hauptlager und Gehäuse | Schmierfett | ca. 160 kg | Wälzlagerfett |
| 9 | Hauptgetriebe | Öl | 1000 l-1100 l | Getriebeöl |
| 10 | Generatorlager (2x) | Schmierfett | 1500 g | Wälzlagerfett |
| 11 | Bremsanlage | Hydrauliköl | 35 l | Hydrauliköl |
| 12 | Hebezeug / Gondelkran | Öl | 0,5 l | Getriebeöl |
| 13 | Gondelverkleidung | Kunststoff | 3000 kg | Glasfaserverstärkter Kunststoff |
| 14 | Kabel | Metalle, Kunststoffe | 500 kg | Kupfer, Isolierung |
| 15 | Farbanstriche | verschiedene | 200 kg | |

Tabelle 7-2: Brandlasten Maschinenhaus

Turm

| Position | Bauteil | Stoff | Menge | Bezeichnung |
|----------|--------------|----------------------|---------|-------------------------------|
| 1 | Kabel | Metalle, Kunststoffe | 9000 kg | Kupfer, Aluminium, Isolierung |
| 2 | Kabelhalter | Metalle, Kunststoffe | 400 kg | |
| 3 | Farbanstrich | verschiedene | 2200 kg | |
| 4 | Systemträger | Metalle, Kunststoffe | 2500 kg | |

Tabelle 7-3: Brandlasten Turm

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 12 von 18 |

7.6 Rauch- und Wärmeabfuhr

Durch die Gestalt des WEA-Turms entsteht aufgrund des Kamineffektes eine Thermik, durch die ein Rauchabzug gewährleistet ist. Ein Hitzestau beim Brand der Schaltanlage im Turmfuß kann bedingt durch den Kamineffekt ausgeschlossen werden.

Das Übergreifen eines Feuers vom Turmfuß in das Maschinenhaus kann aufgrund des hohen Turmes als unwahrscheinlich angesehen werden.

Im Turm kommen schwer entflammable Kabel zum Einsatz. Ein Weiterleiten des Feuers in die Gondel ist daher unwahrscheinlich.

Durch die Gestaltung der Gondelverkleidung und die in ihr für den normalen Betrieb befindlichen Lüftungsöffnungen entsteht ein Sog. Dieser ist ausreichend für eine genügend große Wärme- und Rauchabfuhr.

Aus diesen Gründen sind keine weiteren Rauch- und Wärmeabfuhrsysteme nötig.

7.7 Umgebungsbedingungen

Die WEA steht frei. Für ihre Errichtung nötige Zufahrt und Kranstellfläche bleiben während des Betriebes bestehen. Diese Zufahrt erfüllt die Anforderungen der Landesbauordnung.

Die Windkraftanlagen sind eindeutig gekennzeichnet und die Pläne der Zufahrt sind den Leitstellen der Feuerwehr zu übergeben.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 13 von 18 |

8 Angaben zu Sicherheitseinrichtung in der Windenergieanlage

Folgende Parameter werden während des Betriebes der WEA ständig erfasst:

- Gondeltemperatur
- Lagertemperatur (Hauptlager, Getriebelager, Generatorlager)
- Getriebeöltemperatur
- Wicklungstemperatur des Generators
- Temperatur der Schaltschränke, Umrichter
- Außentemperatur
- Ladezustand der Akkupakete für Notabschaltung
- Erdschlusserkennung für den Generator
- Differenzstromüberwachung aller elektrischen Antriebe
- Fehlerstromerkennung für die Versorgung Licht und Steckdosen
- Funktion der Fernüberwachung

Ein Überschreiten der festgelegten Grenzwerte führt zum sofortigen Stopp der WEA.

Alle Störungen werden rund um die Uhr durch die Fernüberwachung erfasst.

Aufgrund der vorhandenen Überwachungstechnik und –verfahren sind standardmäßig keine weiteren Brandschutzeinrichtungen installiert. Projektspezifisch können aber Brandmeldeanlagen, bzw. Brandlöschanlagen verbaut werden. In diesem Fall befinden sich die Steuereinheit im Maschinenhaus der Anlage. Brandmeldesensoren und Löschgeneratoren sind entsprechend der jeweiligen Genehmigungs- und Herstellervorgaben ebenfalls im Maschinenhaus und Steuerschränken verbaut.

In jedem Turmsegment sowie in der Gondel befinden sich Leuchten, die mit einem Akkupuffer ausgestattet sind. Sie ermöglichen die Beleuchtung der Anlage für min. eine Stunde nach Wegfall der Stromversorgung.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 14 von 18 |

9 Verhalten bei Brand, Löschen der Windenergieanlage

9.1 Alarmieren von Rettungskräften

Die Alarmierung der Rettungskräfte erfolgt durch die Fernüberwachung nach Eingang der Störmeldung. Anwesendes Servicepersonal kann die Rettungsleitstellen über die immer mitzuführenden Mobiltelefone verständigen.

9.2 Löschen von Bränden

Bei gravierenden Störungen oder manuell eingeleitetem Notstopp erfolgt eine Notabschaltung, bei der die Windkraftanlage vom Netz getrennt wird. Weiterhin ist die WEA im Brandfall vom Versorgungsnetz durch Freischalten am Mittelspannungstrafo zu trennen.

Aufgrund der großen Turmhöhe ist das Löschen des Maschinenhauses nicht möglich. Deswegen ist im Falle eines Brandes der Maschine das Umfeld weiträumig abzusperren und herabfallende Gegenstände sofort zu löschen.

Aufgrund der großen Abstände der WEA zu anderen Gebäuden oder Maschinen ist ein Übergreifen des Feuers auf diese unwahrscheinlich. Bei Bränden im Turm der WEA ist dieser von außen zu kühlen. Brände im Bereich von Schaltschränken sind nicht mit Wasser zu löschen. Es sind die Hinweise der DIN VDE 0132 bez. Löschen von Bränden in Schaltanlagen zu beachten.

9.3 Nachweis der erforderlichen Löschwassermenge sowie der Löschwasserversorgung

Aufgrund der großen Turmhöhe ist nur das Löschen herabfallender Gegenstände möglich. Für das Ablöschen dieser und einen eventuellen Erstangriff reicht der üblicherweise vorhandene Löschwasservorrat von eines LF10 / LF20 (1200 I / 2000I) oder eines HLF10 / HLF20 (1000 I / 1600 I) der Ortsfeuerwehr aus. Sollte das Löschfahrzeug für die erste Brandbekämpfung kein Löschwasser mitführen muss die Windenergieanlage in einem Umkreis von 500 m durch die Feuerwehr abgesperrt werden. Die Netzleitzentrale ist zu informieren damit die WEA vom Netz getrennt wird. Es ist ein Löschfahrzeug (z.B. HLF 20 mit 2000 I Löschmittel oder TLF 3000 mit 2300 I Löschmittel) für die Brandbekämpfung anzufordern – bzw. ein Tankfahrzeug oder ein Anschluss zum nächsten Hydranten / Feuerlöschteich herzustellen.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 15 von 18 |

10 Rettung und Bergung

10.1 Verhalten im Brandfall während einer Wartung

Wenn es bei der Durchführung einer Wartung (keine Arbeiten mit besonderer Brandgefahr) zu einem Entstehungsbrand in der Maschine kommt, ist dieser mit einem stets in der Gondel vorhandenen Feuerlöscher zu bekämpfen. Das Kleinlöschgerät, 9kg Schaum Feuerlöscher S9SKF2, ist in regelmäßigen (gemäß den gesetzlichen Bestimmungen des Landes) Abständen zu überprüfen.

Im Rahmen einer jeden Servicearbeit werden Abseilvorrichtungen mitgeführt, über die ein Notabstieg aus der Gondel möglich ist.

Eine brennende WEA darf durch das Service- und Wartungspersonal nicht betreten werden. In diesem Fall ist unverzüglich die Feuerwehr zu informieren und anschließend bei der Netzleitzentrale die Spannungsfreischaltung des Netzes zu erbitten.

Alarmplan für jegliches Servicepersonal der WEA

- Ruhe bewahren
- Notruf absetzen (Mobiltelefon)
- geregelter Abstieg
- Freischaltung des Netzes durch die Netzleitzentrale erbitten
- Löschen nur bei Gefahr für Leib und Leben
- Sichere Position einnehmen

10.2 Feuer in Gondel oder Rotor

Sollte es bei Arbeiten in der Gondel oder dem Rotor zu einem Brand kommen, ist dieser mit dem vorhandenen Feuerlöscher zu bekämpfen.

Sollte dieses auf Grund der Größe des Brandes oder anderen Gründen nicht möglich sein, ist die Gondel über den Ausstieg zum Turm zu verlassen. Der Abstieg hat über die Leiter zu erfolgen.

In dem Fall, dass der Weg zum Turm nicht mehr zu erreichen ist, ist die WEA über die Luke im hinteren Gondelbereich und mittels Not-Abseilvorrichtung zu verlassen. Das Notabseilgerät ist an einem Stahlträger zu befestigen, der direkt oder indirekt über Stahlbauteile mit dem Maschinenträger verbunden ist.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 16 von 18 |

10.3 Feuer im Turm

Bricht bei Arbeiten im Turm ein Feuer aus, ist dieser in Richtung Turmfuß zu verlassen.

Nur wenn dieser Weg versperrt ist oder sie sich im obersten Turmsegment befinden, erfolgt der Aufstieg in die Gondel und die Flucht über die hintere Luke in der Gondel mittels Not-Abseilgerät. **Bedingt durch den Kamineffekt wird sich entwickelnder Rauch in Richtung Gondel bewegen!**

10.4 Feuer im Turmfuß

Kommt es zu einem Brand im Turmfuß, ist dieser Bereich unverzüglich durch die Turmtür zu verlassen!

10.5 Fluchtplan

Feuer oberhalb des Aufstiegsbereiches

- geordneter Abstieg nach unten über die Leiter im Turm

Feuer unterhalb im Aufstiegsbereich

- geordneter Aufstieg
- Durchgang Maschinenträger verschließen
- Für ausreichende Belüftung sorgen; Dachluke öffnen
- Seil der Notabseilvorrichtung aus Heckluke ablassen
- Notabstieg einleiten

Außenabstieg/Abseilvorgang

- Abseilvorgang vorbereiten: Kurzinformation über Abseilgerät lesen!
- Sicheren Sitz des angelegten Gurtes prüfen
- Seil der Notabseilvorrichtung an Anschlagpunkt oberhalb der Heckluke befestigen
- Seil der Notabseilvorrichtung durch Heckluke ablassen
- Personen an Abseilvorrichtung sichern und Gondel vorsichtig über Luke verlassen
- Abseilvorgang beginnen: langsam und mit gleichbleibender Geschwindigkeit abseilen

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 17 von 18 |

10.6 Rettungswege

Da die WEA nur kurzzeitig, in abgeschaltetem Zustand, zu Servicezwecken begangen wird und ansonsten unbemannt ist, erfüllt sie damit nicht die Anforderungen an Aufenthaltsräume im Sinne des Bauordnungsrechtes und die damit verbundenen Anforderungen an Flucht- und Rettungswege.

Alle Arbeiten an der WEA werden durch ausgebildetes und unterwiesenes Personal durchgeführt, welches mit Flucht- und Rettungswegen in der Anlage vertraut ist. Die Ausgangstür, Feuerlöscher sowie der Verbandskasten sind durch Piktogramme nach DIN EN ISO 7010 bzw. DGUV Vorschrift 9 (BGV A8) gekennzeichnet.

10.7 Flucht und Rettungspläne für Gondel und Turm

Es sind Flucht- und Rettungspläne gemäß DIN ISO 23601 bzw. DGUV Vorschrift 9 in Gondel Einstieg und Turmfuß gut sichtbar angebracht. Sie enthalten alle notwendigen Informationen des Brandschutzkonzeptes sowie zur Bergung, Rettung, erster Hilfe sowie Standorten der Hilfsmittel (Feuerlöscher, Rettungsgerät, Erste Hilfe Kasten etc.).

11 Weitere Angaben

11.1 Feuerwehrpläne

Pläne über Standort und Zufahrt der WEA sind an die örtlichen Rettungskräfte zu übergeben und müssen in den Leitstellen vorliegen.

11.2 Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung

Basis: Die WEA wird entsprechend den Vorgaben der technischen Vorschriften (z.B. IEC 61400-1, GL-Richtlinien, EN 50308) hergestellt, errichtet und gewartet. Als betriebliche Maßnahme zur Brandverhütung sind im Wesentlichen die regelmäßigen Wartungen zu sehen. Diese werden nach Vorgabe der Typenprüfung mehrmals jährlich vorgenommen und protokolliert. Eine Überwachung der Wartungstätigkeiten erfolgt durch wiederkehrende Überprüfungen durch unabhängige Sachverständige.

11.3 Angaben über Nichtentsprechung von materiellen Anforderungen der Landesbauordnung

Abweichungen von gesetzlichen bzw. materiellen Anforderungen liegen nicht vor.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 18 von 18 |

| | | |
|-------------------|--|---|
| Datum: 27.08.2020 | Blitz- und Überspannungsschutzkonzept eno_P6_Blitz_Ueberspannungsschutz_de_rev1.docx |  |
|-------------------|--|---|

Für die Windenergieanlage (WEA)

eno 152
eno 160
eno 170

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

| | | |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Autor: Tony Maaß | Bearbeiter: Christin Selig | Freigabe: Robin Ahrens |
| | | <div style="border: 1px solid green; padding: 5px; text-align: center;"> GENEHMIGT <i>Von Robin Ahrens , 13:42, 27.08.2020</i> </div> |
| Ort, Datum | Ort, Datum | Ort, Datum |
| Rostock, den 30.01.2020 | Rostock, den 19.08.2020 | Rostock, den 27.08.2020 |

Dieses Dokument ist nur mit entsprechendem Freigabevermerk gültig.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| | | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 1 von 12 |

Vermerk zur Aktualisierung

Das Dokument - *eno_P6_Blitz_Ueberspannungsschutz_de_rev1.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_P6_Blitz_Ueberspannungsschutz_de_rev1.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: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 2 von 12 |

Änderungsverlauf

| Rev. | Datum | Name | Änderungen |
|------|------------|----------------|--|
| 0 | 30.01.2020 | Tony Maaß | Alle Seiten – Neues Dokument |
| 1 | 19.08.2020 | Christin Selig | Änderung der Anlagenbezeichnung eno 150 in eno 152 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Gültigkeit | 5 |
| 2 | Einleitung..... | 5 |
| 3 | Klassifizierung nach Gefährungsgrad | 5 |
| 4 | Berechnungsgrundlage | 6 |
| 4.1 | Wirksamkeit der Fangeinrichtung..... | 6 |
| 4.2 | Blitzschutzzoneneinteilung | 7 |
| 4.2.1 | LPZ 0 _A | 7 |
| 4.2.2 | LPZ 0 _B | 7 |
| 4.2.3 | LPZ 1 | 7 |
| 4.2.4 | LPZ 2...n..... | 7 |
| 4.3 | Komponenten des Blitzschutzsystems..... | 10 |
| 4.3.1 | Rotorblatt – Nabe..... | 10 |
| 4.3.1.1 | Rotorblatt | 10 |
| 4.3.2 | Nabe – Maschinenträger | 10 |
| 4.3.3 | Maschinenträger – Turm | 10 |
| 4.3.4 | Maschinenhaus – Maschinenträger..... | 11 |
| 4.3.5 | Turmkopf – Turmfuß..... | 11 |
| 4.3.6 | Turmfuß – Fundament..... | 11 |
| 4.3.7 | Fundament – Trafostation | 11 |
| 4.4 | Überspannungsschutz und Potenzialausgleich..... | 12 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|---|
| Abbildung 4-1: Einteilung der Turbinenanteile | 8 |
|---|---|

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| Tabelle 4-1: Auflistung und Einordnung der Komponenten zu den einzelnen Blitzschutzzonen..... | 9 |
|---|---|

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| | | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 3 von 12 |

Verzeichnis der Abkürzungen

| Abkürzung | Erklärung / Erläuterung |
|------------------|--|
| BSZ | Blitzschutzzone |
| LPL | Lightning Protection Level |
| LPZ | Lightning Protection Zone (Blitzschutzzone) |
| WEA | Windenergieanlage |

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| | | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 4 von 12 |

1 Gültigkeit

Dieses Dokument ist für den (die) folgenden Windenergieanlagentyp(en) der eno energy systems GmbH gültig:

- eno 152 (alle Nabenhöhen)
- eno 160 (alle Nabenhöhen)
- eno 170 (alle Nabenhöhen)

2 Einleitung

Das folgende Dokument beschreibt die Konzeption des Blitz- und Überspannungsschutzes der Windenergieanlage eno 152/160/170. Die Auslegung des Schutzkonzeptes basiert auf den einschlägigen Normen IEC 61400-24:2010 und DIN EN 61400-24:2011-4 sowie der Normenreihe DIN EN 62305 und weitestgehend den Empfehlungen des Germanischen Lloyd nach GL 2010 IV – Teil1: Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen.

3 Klassifizierung nach Gefährungsgrad

Gemäß den Richtlinien für die Zertifizierung von Windenergieanlagen des Germanischen Lloyd ist die eno 152/160/170 nach IEC 61400-24:10 bzw. IEC 62305-1 der **Blitzschutzklasse I** (LPL) zuzuordnen, da sie ausschließlich mit Nabenhöhen von größer als 60 m zum Einsatz kommen wird. Entsprechend dieser Einteilung ergeben sich folgende Blitzstromparameter für die Dimensionierung des äußeren Blitzschutzsystems:

- Scheitelwert $I_s = 200 \text{ kA}$
- Gesamtladung $Q_{\text{ges}} = 300 \text{ C}$
- Impulsladung $Q_{\text{impuls}} = 100 \text{ C}$
- spezifische Blitzenergie $E_s = 10'000 \text{ kJ}/\Omega$
- mittlere Steilheit $di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Für die Bemessung / Positionierung der Fangeinrichtungen wurde bei der eno 152/160/170 das Blitzkugelverfahren und das Maschenverfahren angewandt. Entsprechend der Blitzschutzklasse I ergibt sich für das Blitzkugelverfahren ein Blitzkugeldurchmesser von 20 m. Für das Maschenverfahren ergibt sich eine Maschenweite von 5 x 5 m.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 5 von 12 |

4 Berechnungsgrundlage

Das beschriebene Blitzschutzsystem dient vornehmlich dem Zweck, die Windturbine und zugehörige Anlagen vor Schäden durch Blitzschlag zu schützen. Personen ist der Aufenthalt in und um die Turbine bei gewittrigen Wetterlagen nicht gestattet. Aus diesem Grund wird der Personenschutz zwar im Blitzschutz- und Erdungskonzept berücksichtigt, jedoch nicht entsprechend erweiterter Anforderungen zum Personenschutz nachgewiesen.

Beim Blitzschutzsystem der eno 152/160/170 wird zwischen innerem und äußerem Blitzschutz unterschieden. Der äußere Blitzschutz schützt innenliegende Anlagenteile gegen direkten Blitzeinschlag. Hierzu ist die Turbine mit wirksamen Fangeinrichtungen zur forcierten Aufnahme des Blitzschlages und zur sicheren Ableitung des resultierenden Blitzstromes gegen Erde ausgestattet.

Der innere Blitzschutz hat die Aufgabe, gefährliche Überspannungen und Funkenbildung innerhalb der Anlage wirksam zu verhindern. Dem Überspannungsschutz an potenziell gefährdeten Anlagenteilen kommt hierbei zentrale Bedeutung zu. Zur Einschätzung der Gefährdung und Festlegung entsprechender Schutzmaßnahmen kommt hier das Blitzschutzkonzept zur Anwendung. Als Schutzmaßnahmen werden Überspannungsschutzeinrichtungen in Kombination mit Potenzialausgleichsmaßnahmen verwendet.

4.1 Wirksamkeit der Fangeinrichtung

Die eno 152/160/170 ist mit unterschiedlichen Fangeinrichtungen zum gezielten Einfangen von Blitzen ausgerüstet. Diese ermöglichen den Blitzfang, sowie die gesicherte Ableitung der Blitzenergie in die Erde über dafür vorgesehene Pfade. Sie werden damit den Anforderungen des äußeren Blitzschutzes gerecht.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit, der Fangeinrichtungen wurden hier das Blitzkugelverfahren und das Maschenverfahren eingesetzt. Beide Verfahren wurden auf das 3D-Modell der gesamten Turbine angewendet. Zur Abbildung der Enddurchschlagstrecke entsprechend Blitzschutzzone I beträgt hierbei der Blitzkugeldurchmesser 20 m und die Maschenweite 5 x 5 m.

Entsprechend den Berührungspunkten der Blitzkugel oder Durchdringung bei Überschreitung der Maschenweite sind Fangeinrichtungen im Design vorgesehen. Diese Fangeinrichtungen sind dann niederimpedant und blitzstromtragfähig an das Erdungssystem (Fundamenterder) angebunden.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 6 von 12 |

4.2 Blitzschutzzoneneinteilung

Die Einteilung in Blitzschutzzeiten (Lightning Protection Zones – LPZ) erfolgt aufgrund der Bedrohung durch einen direkten oder indirekten Blitzeinschlag bzw. durch die Felder, die durch die Blitzeinwirkung bei einem direkten Blitzeinschlag in Fangeinrichtungen auftreten.

Grundlage dieser Einteilung ist das Prinzip, Überspannungen stufenweise auf einen ungefährlichen Pegel zu reduzieren, und damit systematisch einen ausreichenden Schutz für alle Bauteile und Endgeräte sicherzustellen. Nach der Festlegung der Schutzklasse (vgl. Kapitel 3) ist die Gesamtanlage in Blitzschutzzeiten einzuteilen. Hieraus ergeben sich die Anforderungen hinsichtlich des Überspannungsschutzes für die einzelnen Bereiche und Komponenten. Zur Übersicht werden Eigenschaften der zu Grunde gelegten Blitzschutzzeiten kurz erläutert. Abbildung 4-1 und Tabelle 4-1 geben eine Übersicht zur Einteilung der Turbinenteile.

4.2.1 LPZ 0_A

LPZ 0_A bezeichnet eine Zone, die durch direkte Blitzeinschläge und das volle elektromagnetische Feld des Blitzes im Anlagenaußenbereich gefährdet ist. Komponenten in dieser Zone müssen in der Lage sein, einen direkten Blitzeinschlag mit Strömen entsprechend der gewählten Blitzschutzklasse und die zugehörigen, ungedämpften elektromagnetischen Felder zu beherrschen und den vollen Blitzstrom abzuleiten. Die inneren Systeme können dem vollen Blitzstrom ausgesetzt sein.

4.2.2 LPZ 0_B

LPZ 0_B ist eine Zone, die gegen direkte Blitzeinschläge geschützt, aber durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können anteiligen Blitzströmen ausgesetzt sein.

4.2.3 LPZ 1

LPZ 1 ist eine Zone, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch Überspannungsschutzeinrichtungen (Surge Protection Devices) an den Zonengrenzen begrenzt werden. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch räumliche Schirmung gedämpft sein.

4.2.4 LPZ 2...n

Dies sind Zonen, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch zusätzliche Überspannungsschutzeinrichtungen (Surge Protection Devices (SPD's) an den Zonengrenzen weiter begrenzt werden können. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch zusätzliche räumliche Schirmung weiter gedämpft sein.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 7 von 12 |

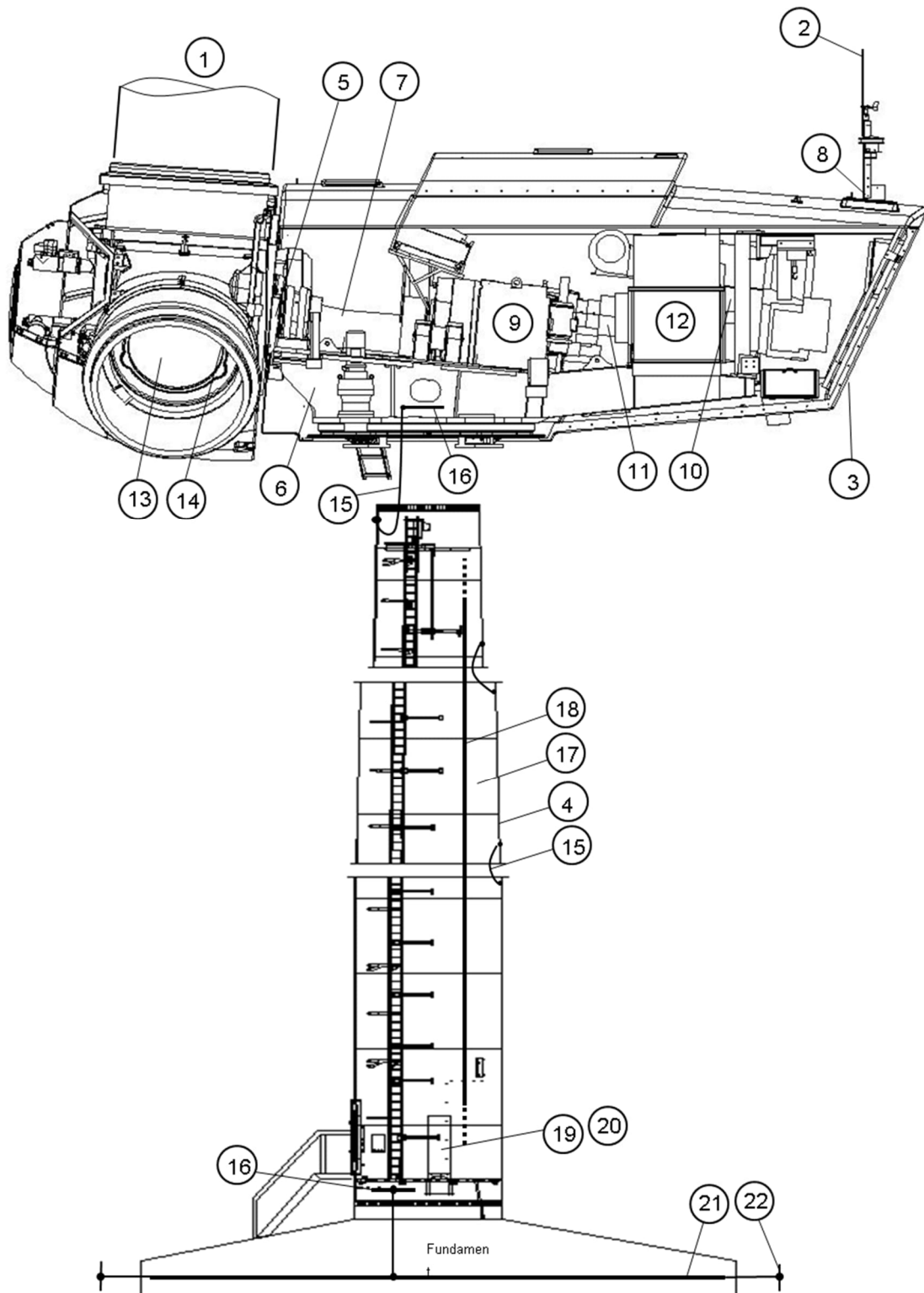


Abbildung 4-1: Einteilung der Turbinenanteile

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 8 von 12 |

| Nr. | Objekt | Blitzschutzzone |
|-----|---|--------------------|
| 1 | Rotorblätter mit Rezeptoren | LPZ 0 _A |
| 2 | Wettermast (Messinstrumente, Flugbefeuerung, Sichtweitenmessung) | LPZ 0 _A |
| 3 | Maschinenhaus innen | LPZ 1 |
| 4 | Stahlrohrturm (außen) | LPZ 0 _A |
| 5 | Blitzstromableitung über Schleifringe mit Kohlebürsten und Funkenstrecke | LPZ 0 _B |
| 6 | Maschinenträger | LPZ 0 _B |
| 7 | Rotorwelle | LPZ 0 _B |
| 8 | Geschirmte Sensorkabel | LPZ 1 |
| 9 | Getriebe | LPZ 0 _B |
| 10 | Synchrongenerator, elektrisch erregt | LPZ 1 |
| 11 | Kupplung | LPZ 1 |
| 12 | Topbox | LPZ 2 |
| 13 | Nabe | LPZ 0 _B |
| 14 | Nabenbox innen | LPZ 2 |
| 15 | Potentialausgleichsbänder | LPZ 0 _B |
| 16 | Potentialausgleichsschiene | LPZ 0 _B |
| 17 | Stahlrohrturm (innen) | LPZ 1 |
| 18 | Energiekabel im Turm | LPZ 1 |
| 19 | Towerbox | LPZ 2 |
| | Leitungen, in Rotorwelle verlegt | LPZ 1 |
| 20 | Umrichter | LPZ 2 |
| 21 | Fundamentringerder | LPZ 0 _B |
| 22 | Ringerder | LPZ 0 _B |

Tabelle 4-1: Auflistung und Einordnung der Komponenten zu den einzelnen Blitzschutzzonen

Die Überspannungsschutzeinrichtungen sind entsprechend der in aufgeführten Zonen und Zonengrenzen ausgeführt.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 9 von 12 |

4.3 Komponenten des Blitzschutzsystems

Um Schäden bei einem unvermeidlichen Blitzeinschlag in die Anlage zu vermeiden oder Potentiale, die im normalen Betrieb der Anlage entstehen, auszugleichen, ist die WEA mit einem Blitzschutz- und Potentialausgleichssystem ausgerüstet. Dabei werden Blitze gezielt über entsprechende Rezeptoren in den Rotorblättern oder am Maschinenhaus eingefangen und durch eine definierte Strecke ins Fundament zu den Erdern abgeleitet. Die Ableitstrecke über an der Blitzstromführung beteiligte Komponenten wird im Folgenden kurz erläutert.

4.3.1 Rotorblatt – Nabe

Die Rotorblätter sind die für Blitzeinschläge prädestinierten Komponenten.

Die sensiblen Bauteile des Pitchsystems innerhalb der Rotornabe sind in metallischen, EMV-isolierten und geerdeten Schaltschränken untergebracht. Diese bilden ein Faradayschen Käfig aus, in dem ein gegenüber außen geschwächtes elektromagnetisches Feld vorherrscht. Somit ist das Einkoppeln von Störgrößen in dieser Zone reduziert. Alle aus den Schaltschränken herausgeführten Kabel sind doppelt geschirmt. Durch den äußeren Kabelschirm wird somit die, durch die Schaltschränke gebildete, Blitzschutzzone um die Kabel herum erweitert.

4.3.1.1 Rotorblatt

Die Rotorblätter sind aus Materialien gefertigt, die einen Blitz nicht ableiten können. Daher sind sie mit einem speziellen Blitzschutzsystem ausgestattet. Dieses besteht aus einem metallischen Rezeptor an der Blattspitze und mehreren Rezeptoren auf der Saug- und Druckseite des Blattes. Alle Rezeptoren sind niederohmig miteinander verbunden. Diese Verbindung erfolgt über ein einlamiertes, blitzstromtragfähiges Metallband. Das Metallband endet an der Blattwurzel von der aus der Blitzstrom mittels Funkenstrecke auf den Nabenkörper geführt wird. Hierdurch wird eine Führung des Blitzstromes über die Blattlager vermieden.

4.3.2 Nabe – Maschinenträger

Die Ableitung des Blitzstromes von der Nabe auf den Maschinenträger erfolgt über alternative, redundante Strompfade parallel zum Rotorhauptlager. Sie sind ausgeführt als Kombination aus Funkenstrecke und blitzstromtragfähigen Kohlebürsten. Somit wird der Anteil des Blitzstroms, der über das Lager fließt, auf ein unschädliches Maß reduziert.

4.3.3 Maschinenträger – Turm

Vom Maschinenträger aus erfolgt die Ableitung des Blitzstromes in den Turm. Die Ableitung erfolgt über zwei 240 mm² Kabel von der Maschinenträgererdung direkt auf den Turm. Durch die zum Azimutlager

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 10 von 12 |

parallele Stromführung über Kabel ist eine ausreichende Reduktion des Blitzstromes durch das Azimutlager gewährleistet.

4.3.4 Maschinenhaus – Maschinenträger

Die Maschinenhausverkleidung ist mit entsprechenden Blitz-Fangeinrichtungen ausgestattet. Die so genannte Wetterstation mit ihren Windmesseinrichtungen, der Flugbefehrerung und der Sichtweitenmessung ist mit einer Fangeinrichtung aus Rundstab-Material mit einem Durchmesser von 10 mm versehen. Um einen umfassenden Schutz sicherzustellen und einen direkten Blitzeinschlag in das Maschinenhaus weitestgehend auszuschließen, sind im hinteren Bereich der Verkleidung zusätzliche Stahlelemente vorgesehen. Alle weiteren metallischen Elemente ohne direkten, leitenden Kontakt zum Potentialausgleich der Anlage sind über elastische Erdungsbänder mit dem Maschinenträger verbunden.

4.3.5 Turmkopf – Turmfuß

Im Turm erfolgt die Ableitung durch die Turmwand. Die Flanschverbindungen werden durch Potentialausgleichsbänder leitend miteinander verbunden, um den Blitzstrom niederimpedant weiterzuleiten.

4.3.6 Turmfuß – Fundament

Angekommen im Turmfuß, erfolgt die Übertragung der Blitzenergie in das Fundament über vier, um 90° versetzte Anschlussfahnen, welche leitend mit der Bewehrung des Fundamentes und dem Fundamenterder verbunden sind. Der Fundamenterder wird als Ring in das Fundament der Windenergieanlage eingebracht. Er hat den Vorteil, dass er bei ausreichender Überdeckung mit Beton gegen Korrosion geschützt ist und so der Ausbreitungswiderstand über lange Zeit konstant bleibt.

Der Fundamenterder ist weiterhin mit einem zusätzlichen Ringerder verbunden. Er ist in Form von 2-3 geschlossenen Ringen um das Fundament gelegt.

An vier um 90° versetzten Stellen sind sie an aus dem Beton herausgeführten Anschlußfahnen mit dem Fundamenterder befestigt. Die Ringe sind untereinander durch Querverbinder verbunden.

4.3.7 Fundament – Trafostation

Um die Transformatorstation ist ein Steuererder als geschlossener Ring vorgesehen. Dieser ist mit dem Potentialausgleich der Station sowie mit der Erdung der Windenergieanlage verbunden um eine möglichst großflächige Erdungsanlage zu erhalten.

Nach dem Bau des Fundamentes muss der Erdungswiderstand gemessen werden. Der Erdungswiderstand muss dabei kleiner als 2 Ohm sein. Wird dieser Grenzwert nicht erreicht, müssen

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 11 von 12 |

entsprechende Maßnahmen in Form von zusätzlichen Tiefenerdern oder ähnlichem ergriffen werden, um den Widerstand zu verringern.

4.4 Überspannungsschutz und Potenzialausgleich

Eine weitere bedeutende Aufgabe kommt dem Schutz des elektrischen Systems bzw. der Regel- und Steuereinrichtungen zu, da die hier verwendeten Komponenten empfindlich auf Überspannungen reagieren können. Durch die räumliche Schirmung in metallenen Schaltschränken können die durch Blitzeinschläge hervorgerufenen magnetischen Felder und damit auch die induzierten Spannungen und Ströme minimiert werden. Die Signaleingänge der Steuerung aus sensiblen Bereichen der LPZ 0_B werden mit Überspannungsschutzgeräten im Schaltschrank geschützt.

Sensible elektrische Bauteile und Datenkabel sind mit einer entsprechenden Schirmung ausgeführt, um diese vor induktiven und kapazitiven Einkopplungen durch den hohen und breitbandigen Blitzstrom zu schützen. Die Schirmung wird an den Steuerschränken ausgeführt. Dadurch wird die LPZ des Steuerschranks nach außen durch die Leitung erweitert. Für den Potentialausgleich der Komponenten, die nicht durch die Montagesituation metallisch mit dem Grundrahmen verbunden sind, wie z.B. das Getriebe und der Generator, sind entsprechende Erdungsbänder vorgesehen, welche mit dem Maschinenträger leitend verbunden sind.

Die Nabenbox, Topbox, der Steuerschrank im Turmfuß und die Leistungsumrichter besitzen im Versorgungsbereich einen Überspannungsschutz für leitungsgebundene Überspannung.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

| Autor: | Revision: | Projekt: | Einstufung: | Seite: |
|-----------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Tony Maaß | 1 | P6 | vertraulich | 12 von 12 |