



Industrie Service

**Mehr Sicherheit.  
Mehr Wert.**

# Unabhängige Analyse

für den Standort

## WILD (ÖSTERREICH)

**Bericht Nr.: MS-1504-029-AT-ICE-RA-de**

**Revision 2**

**Datum: 08.08.2018**

## Unabhängige Analyse von Eisfall mit Risikobewertung

Datum: 08.08.2018  
Revision: 2

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-RGB/JH/WEI

Das Dokument besteht aus  
76 Seiten.  
Seite 1 von 76

Die auszugsweise Wiedergabe des  
Dokumentes und die Verwendung  
zu Werbezwecken bedürfen der  
schriftlichen Genehmigung der  
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen sich  
ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



**Auftraggeber:**

**evn naturkraft GmbH**  
EVN Platz  
A-2344 Maria Enzersdorf

**Auftragnehmer:**

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
**Abteilung Wind Cert Services**  
Ludwig-Eckert-Str. 8  
D-93049 Regensburg

**Angebot Nr.:**

**AN-WG-1807-169-AT**

**Berichtart:**

**Unabhängige Analyse von Eisfall**

**Standortbezeichnung:**

**Wild**

**Land:**

**Österreich**

**Bericht Nr.:**

**MS-1504-029-AT-ICE-RA-de**

**Revision:**

**2**

**Ausstellungsdatum:**

**08.08.2018**

**Status:**

**Endbericht**

**Vertraulichkeitsstufe:**

A  B  C

**Bericht verfasst von:**

**(Teilbereich Eisfallanalyse)**

---

**Dipl.-Geogr. Jürgen Hahn**  
**(Abteilung Wind Cert Services)**

**Bericht geprüft von:**

**(Teilbereich Eisfallanalyse)**

---

**Dipl.-Geogr. Martin Unger**  
**(Abteilung Wind Cert Services)**

**Bericht verfasst von:**

**(Teilbereich Risikobewertung)**

---

**Dipl.-Phys. Thorsten Weidl**  
**(Abteilung Risikomanagement und Technische DueDiligence)**

**Bericht geprüft von:**

**(Teilbereich Risikobewertung)**

---

**Dipl.-Ing. André Hoffmann**  
**(Abteilung Risikomanagement und Technische Due Diligence)**

## Haftungsausschluss

Der vorliegende Bericht wurde sorgfältig und fachgerecht nach bestem Wissen und Gewissen und nach allgemeinen Regeln der Technik angefertigt. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass das durch den Auftraggeber bzw. Dritte zur Verfügung gestellte Material (Daten, Schriften, Aufzeichnungen, Diagramme, etc.) zur Erstellung der Dienstleistung nicht vollständig auf Richtigkeit geprüft werden kann. Es kann daher keine Fehlerfreiheit der dargestellten Ergebnisse übernommen werden. Eine Garantie und eine damit verbundene Haftung kann nicht übernommen werden. Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse sind nur im Kontext mit der gesamten Analyse und unter besonderer Berücksichtigung der Hinweise und der berechneten Unsicherheiten zu den Ergebnissen zu verstehen.

### Ausgehändigte Berichte

| Revision | Datum      | Titel des Berichts                                  |
|----------|------------|---|
| ICE-0    | 14.07.2015 | Unabhängige Analyse von Eisfall                     |
| RA-0     | 14.07.2015 | Unabhängige Risikoanalyse                           |
| ICE-RA-1 | 12.03.2018 | Unabhängige Analyse von Eisfall mit Risikobewertung |
| ICE-RA-2 | 08.08.2018 | Unabhängige Analyse von Eisfall mit Risikobewertung |

### Änderungsrevision

| Revision | Datum      | Zusammenfassung der Änderungen   |
|----------|------------|--|
| ICE-0    | 14.07.2015 | Vollständiger Endbericht   |
| RA-0     | 14.07.2015 | Vollständiger Endbericht   |
| ICE-RA-1 | 12.03.2018 | Vollständiger Endbericht, Änderung der Anlagenkonfiguration  |
| ICE-RA-2 | 08.08.2018 | Vollständiger Endbericht, Änderung des Eiserkennungssystems, Update der Untersuchungsobjekte, Änderung des Maßnahmenkonzepts zur Risikoreduzierung |

### Definition der Vertraulichkeitsstufe

Im nachfolgenden wird die Klassifikation der jeweiligen Vertraulichkeitsstufe beschrieben. Die Definition der jeweiligen Vertraulichkeitsstufe soll dem Auftraggeber die Möglichkeit liefern, das Projekt und die auszustellende Dienstleistung gegenüber dem Zugriff Dritter zu schützen. Hierzu werden 3 Stufen (Klassifikationen) unterschieden, die im Feld Definition näher beschrieben sind. Die Vertraulichkeitsstufe wird bei der Beauftragung der Dienstleistung vorab durch den Auftraggeber festgelegt. Änderungen der Klassifikationen bedürfen der Schriftform seitens des Auftraggebers.

| Stufe | Klassifikation     | Definition   |
|-------|--------------------|--|
| A     | Streng vertraulich | Nur die als Empfänger namentlich unter Angabe der Firmenanschrift genannten Personen erhalten Informationen zu diesem Projekt. |
| B     | Betriebsgeheimnis  | Nur die als Auftraggeber genannte Firma und deren Beschäftigten erhalten Informationen zu diesem Projekt.                      |
| C     | Geheim             | Die vom Auftraggeber genannten Firmen dürfen Informationen zu diesem Projekt erhalten.   |

## Inhalt

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>0</b> | <b>Einleitung .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1</b> | <b>Zusammenfassung der Ergebnisse.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Eingangsdaten für die Berechnungen.....</b>                                  | <b>11</b> |
| 2.1      | Tabellarische und graphische Darstellung der Windparkkoordinaten .....          | 11        |
| 2.2      | Anlagenspezifische Eingangsdaten .....  | 13        |
| 2.3      | Meteorologische Eingangsdaten.....  | 13        |
| 2.3.1    | Standortspezifische Windmessdaten .....   | 13        |
| 2.3.2    | Generierte Windstatistik für die Eisfallberechnungen .....                      | 13        |
| 2.3.3    | Standortspezifische Abschätzung der Vereisungstage.....                         | 15        |
| 2.4      | Untersuchungsobjekte am Standort.....   | 15        |
| <b>3</b> | <b>Darstellung der Berechnungsergebnisse für Eisfall bei Trudelbetrieb.....</b> | <b>23</b> |
| <b>4</b> | <b>Ermittlung des von den Anlagen ausgehenden Gesamtrisikos .....</b>           | <b>25</b> |
| 4.1      | Risiko für WKA01.....   | 26        |
| 4.2      | Risiko für WKA02.....   | 28        |
| 4.3      | Risiko für WKA03.....   | 30        |
| 4.4      | Risiko für WKA04.....   | 32        |
| 4.5      | Risiko für WKA05.....   | 34        |
| 4.6      | Risiko für WKA06.....   | 36        |
| 4.7      | Risiko für WKA07.....   | 39        |
| 4.8      | Risiko für WKA08.....   | 42        |
| 4.9      | Risiko für WKA09.....   | 44        |
| 4.10     | Risiko für WKA10.....   | 46        |
| 4.11     | Risiko für Kranstellflächen und Zuwegung .....                                  | 48        |
| <b>5</b> | <b>Hinweise zur Erstellung der Analyse.....</b>                                 | <b>49</b> |
| <b>6</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>7</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>52</b> |
| 7.1      | Eiswurf und Eisfall bei Windenergieanlagen .....                                | 52        |
| 7.2      | Theoretische Berechnungsgrundlagen von Eiswurf bzw. Eisfall.....                | 54        |
| 7.3      | Annahmen für die Eisfallberechnungen .....                                      | 55        |
| 7.4      | Berechnete Eisfallszenarien.....  | 56        |
| 7.5      | Risiko und Risikoakzeptanzkriterien.....  | 57        |
| 7.5.1    | Der Risikobegriff .....   | 57        |

|   |    |
|---|----|
| 7.5.1.1 Risikobewertung .....   | 57 |
| 7.5.1.2 Risikodarstellung - Risikomatrix .....                                  | 59 |
| 7.5.2 Risikoakzeptanzkriterien .....  | 61 |
| 7.5.2.1 Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) .....               | 61 |
| 7.5.2.2 Das ALARP-Prinzip.....  | 62 |
| 7.5.2.3 Kollektives Risiko .....  | 63 |
| 7.5.2.4 Im Rahmen der Untersuchung verwendete Akzeptanzkriterien .....          | 64 |
| 7.5.2.5 Vergleichsrisiken.....  | 67 |
| 7.6 Für die Risikoanalyse verwendete Methodik .....                             | 68 |
| 7.6.1 Schadensausmaß .....  | 68 |
| 7.6.1.1 Die Probit-Funktion .....   | 68 |
| 7.6.1.2 Massenverteilung der Eisstücke.....                                     | 69 |
| 7.6.1.3 Ermittlung des mittleren Schadensausmaßes .....                         | 70 |
| 7.6.2 Eintrittshäufigkeit.....  | 71 |
| 7.6.2.1 Betrachtete Expositionsszenarien .....                                  | 72 |
| 7.6.2.2 Ermittlung der Trefferwahrscheinlichkeit $H_T$ , $P_T$ .....            | 73 |
| 7.6.2.3 Ermittlung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit $P_A$ .....                | 74 |
| 7.6.2.4 Berücksichtigung eines Reduktionsfaktors .....                          | 74 |
| 7.6.2.5 Ermittlung der Gefährdungswahrscheinlichkeit.....                       | 74 |
| 7.6.3 Ermittlung des Risikos für die einzelnen Szenarien und Gesamtrisiko ..... | 75 |
| 7.6.4 Berücksichtigung von Sicherheitsmaßnahmen.....                            | 75 |
| 7.7 Abkürzungsverzeichnis .....   | 76 |

## 0 Einleitung

Dieser hier vorliegende Bericht beruht auf dem Angebot mit der Nr. AN-WG-1807-169-AT vom 17.07.2018 [3]. Der Auftraggeber hat dieses am 25.07.2018 schriftlich beauftragt [4]. Die Bearbeitung der vorliegenden Revision wurde am 31.07.2018 mit Zusendung der aktualisierten Eingangsdaten aufgenommen.

Es wurden folgende Positionen des Angebotes beauftragt:

- Pos. 01 Prüfung der neuen Zertifizierungssysteme des Eiserkennungssystems und Anpassung des Berichts
- Pos. 02 Update der Untersuchungsobjekte anhand der aktuell übermittelten Wander- und Radwege und Anpassung des Berichts
- Pos. 03 Prüfung des EVN-Abschalt- und Hinweiskonzepts.  
Bei positivem Ergebnis Implementierung in den Bericht

Der geplante Windpark trägt den Projektnamen Wild. Die grobe Lokalisierung kann durch die Marktgemeinde Göpfritz an der Wild im Bezirk Zwettl und die Katastralgemeinde Dietmannsdorf an der Wild im Bezirk Horn in Niederösterreich erfolgen.

Vom Auftraggeber wurde eine Parkkonfiguration mit den jeweiligen Koordinaten der geplanten Windenergieanlagen (WEA) vorgegeben [5].

Für die Ermittlung der Eisfallweiten bei Trudelbetrieb wurden die folgenden Anlagendaten verwendet.

- Parkkonfiguration II: 10 x Vestas V150 mit 4.2 MW Leistung, 166 m Nabenhöhe und 150 m Rotordurchmesser

Innerhalb dieser Analyse wurden die oben aufgeführten, beauftragten Positionen MS-500 bis MS-514 bearbeitet. Dabei wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Prüfung der Unterlagen zur Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems für den geplanten Anlagentyp auf Vollständigkeit, auf Basis der vom Anlagenhersteller bzw. Auftraggeber zur Verfügung gestellten Dokumente.
- Unsicherheitsbetrachtung auf Basis der meteorologischen Eingangsdaten für die Windstatistik.
- Berechnung der zu erwartenden Eisfallweiten von den geplanten Anlagen unter Berücksichtigung der maximalen Umdrehungszahl beim Trudelbetrieb der Anlage (Leerlauf) sowie der Windverhältnisse am Standort.
- Bewertung der in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte verlaufenden Straßen und Wege sowie Kranstellflächen hinsichtlich ihrer Lage im ermittelten Gefährdungsbereich.

Dieser hier vorliegende Bericht wurde von TÜV SÜD IS erstellt, um mögliche Eisfallgefährdungen und das Risiko für Menschen durch abfallende Eisstücke durch den geplanten Windpark zu ermitteln.

Diese Betrachtung ist notwendig, weil die geplanten Anlagen von einem Wegesystem umgeben sind, wobei Wege durch den ermittelten Eisfallbereich führen.

Zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer existieren keine weiteren geschäftlichen Verbindungen zu diesem hier durchgeführten Projekt.

In diesem hier vorliegenden Bericht werden als Dezimaltrennzeichen Punkte verwendet. Zudem wird ein Hochstrich als Zifferngruppierung eingeführt, der die Tausender-Gruppierung anzeigt.

## 1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wurde eine unabhängige Analyse für den Standort Wild durchgeführt. Dabei wurde der mögliche Eisfall am Standort durch die geplanten, vereisungsbedingt abgeschalteten und im Trudelbetrieb befindlichen Anlagen berechnet.

Vom Auftraggeber wurde eine Parkkonfiguration bestehend aus 10 Anlagen des Typs Vestas V150 mit einer Nennleistung von 4.2 MW, einer Nabenhöhe von 166 m und einem Rotordurchmesser von 150 m mitgeteilt [5].

Wie vom Auftraggeber mitgeteilt, soll an den geplanten Anlagen zur Vermeidung von Eiswurf das Eiserkennungssystem der Firma *eologix sensor technology gmbh* verwendet werden. Unterlagen zur Funktionsweise sowie das Zertifikat zur Funktionssicherheit der Firma *DNV GL Energy Renewables Certification Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH* wurden durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt [37]. Außerdem wurde die Einbindung des Signals des Eiserkennungssensors in die Anlagensteuerung durch den Anlagenhersteller schriftlich bestätigt [36]. Auf Basis der vorliegenden Dokumente zur Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems kann Eiswurf durch eine sich in Betrieb befindlichen Anlage ausgeschlossen werden.

Die geplanten Anlagenstandorte sind von einem bestehenden Waldwegsystem (*Wege A, C bis AC*) umgeben. Außerdem führt die Landesstraße B2 (*Straße B*) südlich am geplanten Windpark vorbei. Zusätzlich wurden Informationen zu den Zuwegungen und zu den Kranstellflächen [9] sowie zu in unmittelbarer Umgebung befindlichen Wander- und Radwegen durch den Auftraggeber übermittelt [38]. Diese Untersuchungsobjekte werden in Hinblick auf eine mögliche Gefährdung durch Eisfall untersucht. Nähere Angaben zu deren Lage sowie den jeweiligen Entfernungen zu den geplanten Anlagen sind im Abschnitt 2.4 zu finden.

Für die Berechnungen wurden die im Rahmen des meteorologischen Gutachtens der Firma *Ingenieurbüro ENAIRGY Windenergie GmbH* [8] für den Standort Wild ermittelten Windfeldparameter verwendet. Die Daten dieser langzeiteingordneten Windstatistik basieren auf einer ca. 1.1 km vom geplanten Standort entfernt durchgeführten Windmessung [8].

Die der Windstatistik zugrunde liegenden meteorologischen Eingangsdaten stammen aus der näheren Umgebung des geplanten Standortes, jedoch sind die Aufbereitungsprozesse und der Langzeitbezug der Windmessdaten sowie die Übertragung dieser auf die aktuell geplanten WEA-Standorte trotz der Standortnähe mit Unsicherheiten behaftet.

Daher wurde der windrichtungsabhängige Skalierungsparameter der Weibull-Funktion der vorliegenden Windstatistik mit einem Unsicherheitszuschlag versehen, dem die Unsicherheitsbetrachtung des meteorologischen Gutachtens [8] hinsichtlich der meteorologischen Eingangsdaten sowie der Windfeldmodellierung zugrunde liegt. Dabei wurde die Verteilung der Windgeschwindigkeiten in den einzelnen Sektoren erhöht. Damit sind die ermittelten Eisfallweiten mit einer Unsicherheitsbetrachtung versehen und sind als eher konservativ anzusehen. Weitere Informationen zur verwendeten Windstatistik sind in Abschnitt 2.3.2 zu finden.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Berechnungen geht hervor, dass bei der Simulation des leichteren Eisstücks aus Raureif (Szenario A) die größten Fallweiten zustande gekommen sind. Die Verteilung der Trefferhäufigkeiten spiegelt in allen Szenarien die in die Berechnung eingeflossene Windrichtungsverteilung sowie die durch die entsprechende Ausrichtung der Anlage erfolgte, zur jeweiligen Windrichtung rechtwinklige Abwurfriechung von der trudelnden Anlage wieder.

Um eine sichere Benutzung des Wegesystems im Bereich der Windenergieanlagen zu gewährleisten, wurden in Kapitel 4 für einzelne WKA Maßnahmen ermittelt. Im Folgenden werden die Maßnahmenvorschläge derart zusammengefasst, dass nicht mehr die einzelne WKA, sondern der Windpark als Ganzes abgesichert ist.

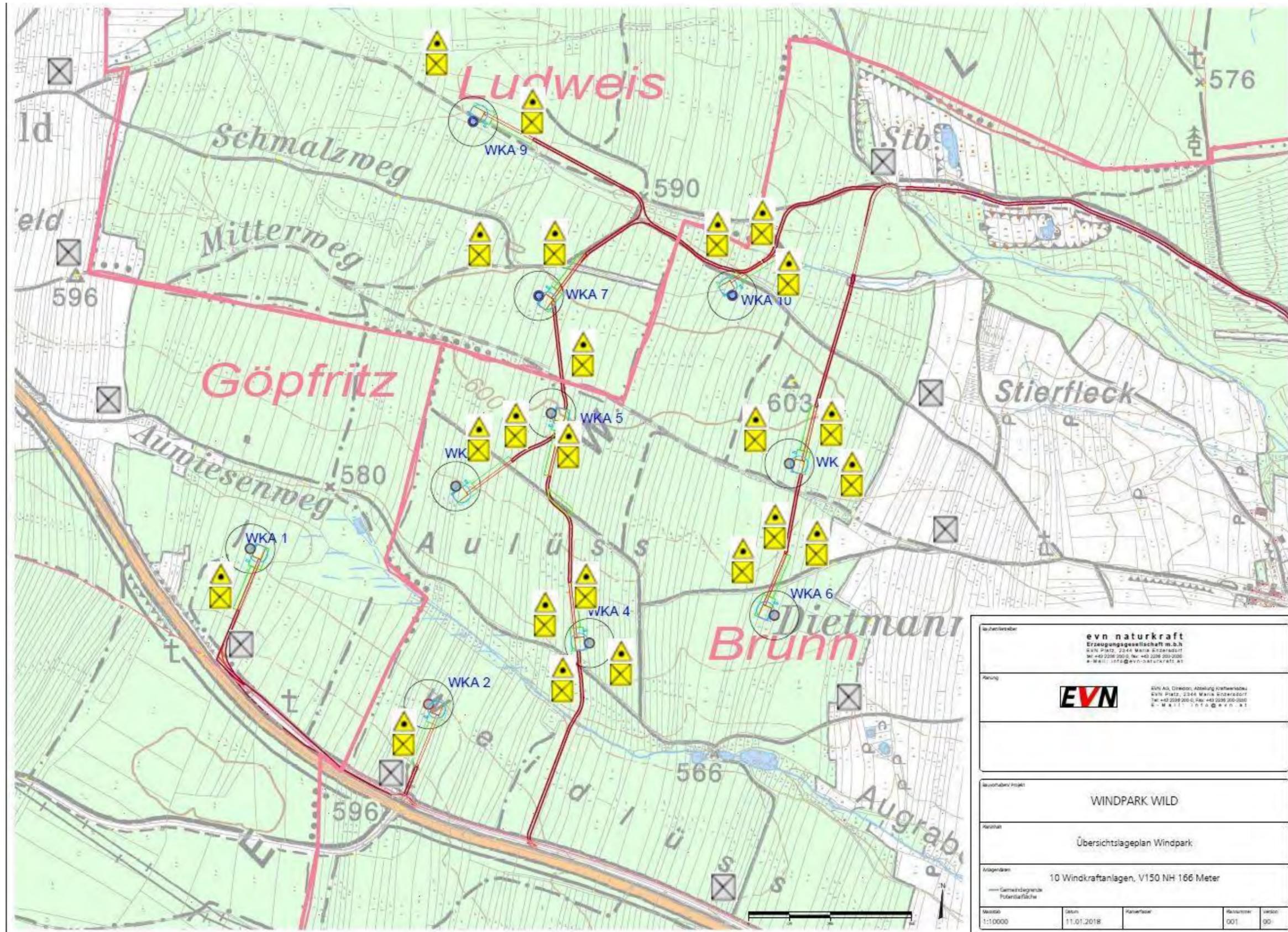
Unter diesem Aspekt wird empfohlen folgende Wege derart zu sichern, dass Passanten bei Eisfallbedingungen deutlich auf die Gefahr bei Benutzung der Wege hingewiesen wird. Dies geschieht idealerweise mit Hinweisschildern inklusive an das Eiserkennungssystem gekoppelten Warnleuchten:

- den Weg *E* an der WKA04;
- den Weg *H* an der WKA08;
- den Weg *U* an der WKA09;
- den Weg *N* an der WKA10.

An weiteren Wegen werden Warnschilder empfohlen, die dazu dienen, die Personenströme auf den ausgeschilderten Wegen zu halten.

Darüber hinaus sind alle Zuwegungen zu den Anlagen, die nicht zum ursprünglichen Wegesystem gehören, abzusichern (siehe auch Kapitel 4.11).

Das vorliegende Konzept *EVN naturkraft Erzeugungsgesellschaft mbH* zur Umsetzung von Maßnahmen zeigt eine 100% Absicherung, wie sie im Windpark Wild vorgenommen werden soll. Diese Maßnahmenplanung erfüllt alle sicherheitstechnischen Anforderung aus der vorliegenden Analyse.



|   |            |   |         |
|---|------------|---|---------|
| Kundenreferenz                                |            | <b>evn naturkraft</b><br>Erzeugungsgesellschaft m.b.H.<br>EVN Platz, 2344 Maria Scherzendorf<br>Tel: +43 2236 200-0, Fax: +43 2236 200-2020<br>E-Mail: info@evn-naturkraft.at   |         |
| Planung                                       |            |  EVN AG, Direktor, Abteilung Kraftwerksbau<br>EVN Platz, 2344 Maria Scherzendorf<br>Tel: +43 2236 200-0, Fax: +43 2236 200-2020<br>E-Mail: info@evn.at |         |
| Maßstab des Projekt                           |            |   |         |
| WINDPARK WILD                                 |            |   |         |
| Planart                                       |            |   |         |
| Übersichtslageplan Windpark                   |            |   |         |
| Anlagenanzahl                                 |            |   |         |
| 10 Windkraftanlagen, V150 NH 166 Meter        |            |   |         |
| — Gemeindegrenze<br>- - - - - Potentialfläche |            |   |         |
| Maßstab                                       | Datum      | Plansteller   | Revisor |
| 1:10000                                       | 11.01.2018 |   | 001     |

**Abbildung 1:** Konzept zur Umsetzung der Maßnahmen der Maßnahmen am Windpark (EVN naturkraft Erzeugungsgesellschaft mbH).



Industrie Service

Wild.

## 2 Eingangswdaten für die Berechnungen

### 2.1 Tabellarische und graphische Darstellung der Windparkkoordinaten

Die Standortkoordinaten für den Windpark Wild wurden vom Auftraggeber mitgeteilt [5] und werden in der nachfolgenden Tabelle bzw. der darauf folgenden Abbildung dargestellt.

| Windparkkoordinaten |                   |         |                     |                |               |             |
|---------------------|-------------------|---------|---------------------|----------------|---------------|-------------|
| Windpark Wild       | Koordinatensystem |         |                     |                | Höhe ü.NN ca. |             |
|                     | BMN 34, WGS 84    |         | Geographisch, WGS84 |                | Fußpunkt      | Blattspitze |
|                     | RW                | HW      | Ost                 | Nord           | [m]           | [m]         |
| WKA 01              | 683'509           | 397'809 | 15° 25' 42.76"      | 48° 42' 52.93" | 583           | 824         |
| WKA 02              | 684'055           | 397'334 | 15° 26' 09.74"      | 48° 42' 37.76" | 584           | 825         |
| WKA 03              | 684'138           | 398'000 | 15° 26' 13.40"      | 48° 42' 59.35" | 591           | 832         |
| WKA 04              | 684'546           | 397'521 | 15° 26' 33.67"      | 48° 42' 43.99" | 584           | 825         |
| WKA 05              | 684'430           | 398'223 | 15° 26' 27.56"      | 48° 43' 06.68" | 600           | 841         |
| WKA 06              | 685'112           | 397'606 | 15° 27' 01.27"      | 48° 42' 46.96" | 588           | 829         |
| WKA 07              | 684'391           | 398'582 | 15° 26' 25.47"      | 48° 43' 18.29" | 602           | 843         |
| WKA 08              | 685'158           | 398'069 | 15° 27' 03.27"      | 48° 43' 01.97" | 596           | 837         |
| WKA 09              | 684'191           | 399'115 | 15° 26' 15.36"      | 48° 43' 35.45" | 591           | 832         |
| WKA 10              | 684'984           | 398'583 | 15° 26' 54.48"      | 48° 43' 18.55" | 595           | 836         |

**Tabelle 1: Koordinaten der geplanten Anlagen im Windpark Wild (Konfiguration II).**



Abbildung 2: Topographische Karte [21] mit den Standorten geplanten WEA (🚧) im Windpark Wild.

## 2.2 Anlagenspezifische Eingangsdaten

Durch den Auftraggeber wurde eine Anlagenkonfiguration zur Berechnung am Standort Wild vorgegeben [5].

Die jeweiligen Eingangswerte für den geplanten Anlagentyp werden in der nachfolgenden Tabelle kurz zusammengefasst.

| Technische Daten |                  |          |           |              |  |  |                            |
|------------------|------------------|----------|-----------|--------------|--|--|----------------------------|
| Konfiguration    | Hersteller / Typ | Leistung | Nabenhöhe | Rotordurchm. | Maximale Umdrehungszahl im Trudelbetrieb | Bestätigung der Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems |                            |
|                  |                  |          |           |              |  | Eiserkennung   | Integration in WEA-Technik |
| [-]              | [-]              | [MW]     | [m]       | [m]          | [U/min]                                  | [-]  | [-]                        |
| II               | Vestas V150      | 4.2      | 166       | 150          | 2.14                                     | erfüllt  | erfüllt                    |

**Tabelle 2: Zusammenfassung der technischen Daten der geplanten WEA.**

Die Funktionsfähigkeit und Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems der Firma eologix wurde im Rahmen der Zertifizierung durch die Firma DNV GL untersucht und bestätigt [37]. Zusätzlich wurde die Einbindung des Signals des Eiserkennungssensors in die Anlagensteuerung durch den Anlagenhersteller Vestas bestätigt [36]. Somit kann auf Basis der vorliegenden Dokumente Eiswurf bei einer sich in Betrieb befindlichen Anlage ausgeschlossen werden.

Aus dem Zertifizierungsbericht der Firma DNV GL geht außerdem hervor, dass das Eiserkennungssystem die Eisfreiheit der Rotorblätter ebenfalls erkennt und somit ein automatisches Wiederanfahren der Anlage ermöglicht, sofern genügend Sensoren aktiv sind.

Die zur Verfügung gestellten Dokumente zum Eiserkennungssystem werden im Anhang dieses Berichts angefügt.

## 2.3 Meteorologische Eingangsdaten

### 2.3.1 Standortspezifische Windmessdaten

In der näheren Umgebung des geplanten Standortes Wild, ca. 1.1 km entfernt, wurde die Windmessung Brunn an der Wild über einen Zeitraum von 12 Monaten mit einem 86 m hohen Masten durchgeführt. Diese Messdaten wurden im Rahmen des erstellten meteorologischen Gutachtens [8] zur Erzeugung von Windstatistiken an den geplanten Anlagenstandorten verwendet.

### 2.3.2 Generierte Windstatistik für die Eisfallberechnungen

Es wurden im Rahmen des meteorologischen Gutachtens [8] für die Anlagenstandorte und für die hier betrachtete Nabenhöhe von 166 m generierte Windstatistiken zur Verfügung gestellt [5]. Diese erscheinen plausibel und werden als Eingangsdatensatz für die Berechnungen herangezogen.

Aufgrund der räumlichen Nähe der geplanten Anlagen innerhalb des Windparks sind hinsichtlich der für die Beurteilung des Eisfalls einfließenden Windverhältnisse die minimalen Unterschiede zwischen den einzelnen Windstatistiken an den geplanten WEA-Standorten nicht re-

levant. Für die hier durchgeführten Berechnungen wurde die für die als Referenzpunkt gewählte WKA 03 erzeugte Windstatistik verwendet. Diese kann für die restlichen Anlagen im Windpark als repräsentativ eingestuft werden.

Der Exponent der Windscherung wurde aus dem in [5] betrachteten Windprofil über der Rotorfläche mit 0.14 ermittelt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die sektoriellen Häufigkeiten sowie A- und k-Parameter der Weibullverteilung der ausgewählten Windstatistik.

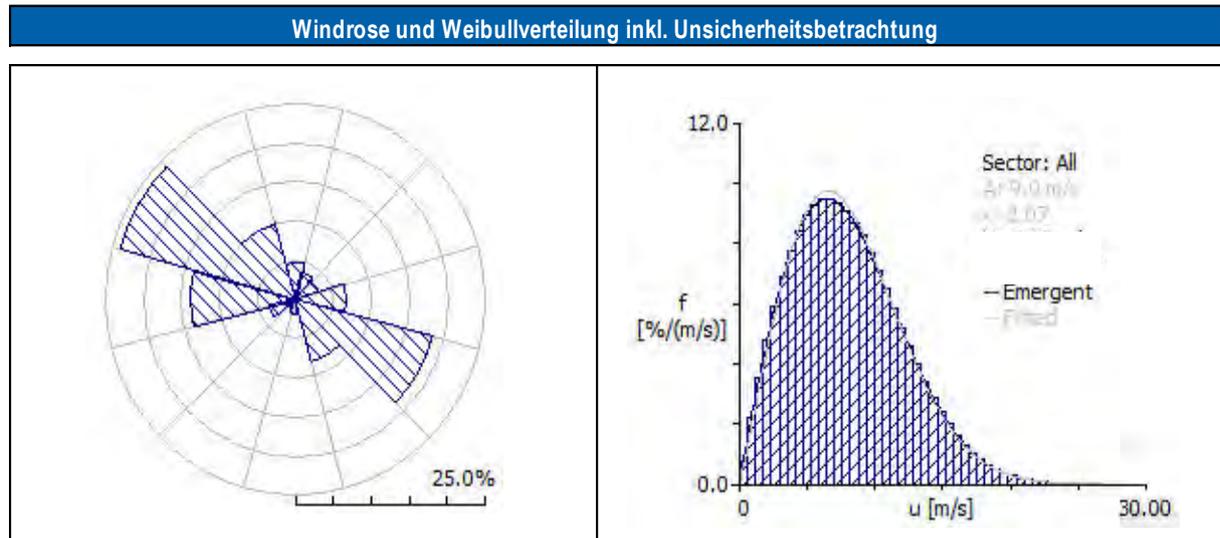
| Ergebnisse der Windgeschwindigkeitsstatistik |              |             |             |
|--|--------------|-------------|-------------|
| Sektor                                       | Häufigkeiten | A-Parameter | k-Parameter |
| [°]  | [%]          | [m/s]       | [-]         |
| 345 - 015                                    | 4.8          | 7.1         | 1.88        |
| 015 - 045                                    | 3.7          | 6.4         | 1.86        |
| 045 - 075                                    | 3.2          | 6.2         | 1.82        |
| 075 - 105                                    | 6.6          | 6.8         | 1.94        |
| 105 - 135                                    | 18.5         | 7.2         | 1.94        |
| 135 - 165                                    | 8.1          | 6.6         | 1.82        |
| 165 - 195                                    | 1.9          | 6.6         | 1.76        |
| 195 - 225                                    | 1.5          | 7.3         | 1.86        |
| 225 - 255                                    | 3.7          | 8.3         | 2.03        |
| 255 - 285                                    | 13.9         | 9.2         | 2.43        |
| 285 - 315                                    | 23.9         | 9.8         | 2.51        |
| 315 - 345                                    | 10.0         | 9.1         | 2.19        |
| Summe/Mittelwert                             | 100          | 7.5         | 2.00        |

**Tabelle 3: Zusammenfassung der wichtigsten Parameter der ausgewählten Windstatistik (ohne Unsicherheitszuschlag) [5] für die geplante Nabenhöhe von 166 m.**

Die Bestimmung des Windfeldes aus den gemessenen Daten für einen Langzeitraum, die Extrapolation auf die geplante Nabenhöhe sowie die Modellierung an den einzelnen geplanten WEA-Standorten ist trotz der standortspezifischen Windmessung mit Unsicherheiten verbunden.

Daher wurde die Windstatistik mit einem Unsicherheitszuschlag versehen, dem die Unsicherheitsbetrachtung des meteorologischen Gutachtens [8] hinsichtlich der meteorologischen Eingangsdaten mit einer Unsicherheit von 8.6% bzw. der Windfeldmodellierung am Standort mit einer Unsicherheit von 12.0% zugrunde liegt. Dies ergibt eine kombinierte Unsicherheit von 14.8%. Hierbei wurden die sektoriellen windrichtungsabhängigen Skalierungsparameter der Weibull-Funktion entsprechend einer 25-prozentigen Überschreitungswahrscheinlichkeit erhöht, sodass die Verteilung der Windgeschwindigkeiten als eher konservativ betrachtet werden kann.

Die Windrichtungsverteilung sowie die Weibull-Verteilung der in den Berechnungen verwendeten Windstatistik sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



**Abbildung 3:** Ganzjährige Windrose und Histogramm der verwendeten Windstatistik für den Standort Wild.

### 2.3.3 Standortspezifische Abschätzung der Vereisungstage

In Anlehnung an [15][35] werden als Eingangsdaten für die Risikobewertung die Anzahl der Tage pro Jahr mit Eisfallpotenzial standortspezifisch abgeschätzt.

| Standortspezifische Abschätzung der Vereisungstage |                           |
|--|---------------------------|
| Standort   | Anzahl an Vereisungstagen |
| Wild   | 22                        |

**Tabelle 4:** Standortspezifische Abschätzung der Vereisungstage auf Basis von [15][35].

Die in obiger Tabelle angegebene Abschätzung wirkt sich maßgeblich auf die Expositionszeiten aus (vgl. Abschnitt 7.6.2).

## 2.4 Untersuchungsobjekte am Standort

Die geplanten Anlagenstandorte sind von einem bestehenden Waldwegsystem umgeben, wobei die Abstände der Anlagen zu diesen Waldwegen (*Wege A, C bis AC*) zwischen ca. < 10 m und 580 m betragen.

Die Wege F, I, N, U, AA und AB stellen in Teilbereichen zusätzlich Wander- bzw. Radwege im östlichen Teil des Windparks dar [38].

Desweiteren führt südlich des geplanten Windparks die Landesstraße B2 (Straße *B*) vorbei, wobei der Mindestabstand zu den Anlagen ca. 280 m beträgt. Diese Straße befindet sich außerhalb des Einwirkungsbereichs des Windparks, sie wurde jedoch der Vollständigkeit halber ebenfalls als Untersuchungsobjekt aufgeführt und bewertet.

Außerdem wurden die geplanten permanenten Zuwegungen zu den Anlagen sowie die Kranstellflächen durch den Auftraggeber mitgeteilt [9]. Für die nachfolgenden Bewertungen werden diese Zuwegungen (in den Karten als *Wege AD bis AL* eingetragen) als befestigt betrachtet.

Dies gilt auch für die Kranstellflächen. Da sich die Zuwegungen und Kranstellflächen naturgemäß in direkter Nähe der Anlagen befinden, wird auf die Angabe der minimalen Abstände in der nachfolgenden Tabelle verzichtet.

Die oben beschriebenen Objekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte (*A bis AC*) werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Hierbei werden die minimalen Abstände zu der jeweils nächstgelegenen geplanten WEA angegeben, wobei der Abstand auf 5 m gerundet wird. Desweiteren soll hierbei beachtet werden, dass die Genauigkeit dieser Angabe auf die Genauigkeit der Kartengrundlage [21] zurückzuführen ist. Weiterhin werden in der folgenden Tabelle die relevanten Expositionsszenarien (Wegkategorien) gemäß Abschnitt 7.6.2.1 mit aufgeführt.

In den darauf folgenden Abbildungen werden die Untersuchungsobjekte graphisch dargestellt.

| Untersuchungsobjekte |                              |  |                                    |
|----------------------|------------------------------|--|------------------------------------|
| Bezeichnung          | Objekt                       | Minimaler Abstand zur jeweiligen WEA   | Expositionsszenario (Wegkategorie) |
| A                    | Straße                       | 340 m (WKA 02)   | 1000 Fzg. / Tag                    |
| B                    | Landesstraße B2              | 280 m (WKA 01)<br>305 m (WKA 02)   | 10000 Fzg. / Tag                   |
| C                    | Waldweg                      | 270 m (WKA 01)<br>270 m (WKA 02)   | regelmäßig                         |
| D                    | Waldweg                      | 390 m (WKA 01)<br>290 m (WKA 02)   | gelegentlich                       |
| E                    | Waldweg                      | 245 m (WKA 01)<br>305 m (WKA 02)<br>240 m (WKA 03)<br>70 m (WKA 04)  | regelmäßig                         |
| F                    | Waldweg / Wanderweg / Radweg | 140 m (WKA 03)<br>150 m (WKA 04)<br>200 m (WKA 05)<br>410 m (WKA 06)<br>470 m (WKA 07)<br>560 m (WKA 08)                   | regelmäßig                         |
| G                    | Waldweg                      | 520 m (WKA 03)<br>300 m (WKA 04)<br>305 m (WKA 05)<br>505 m (WKA 06)<br>540 m (WKA 07)<br>410 m (WKA 08)<br>470 m (WKA 10) | regelmäßig                         |

**Tabelle 5: Untersuchungsobjekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte (Teil 1 von 3).**

| Untersuchungsobjekte |                              |   |                                     |
|----------------------|------------------------------|---|-------------------------------------|
| Bezeichnung          | Objekt                       | Minimaler Abstand zur jeweiligen WEA  | Expositionsszenario (Wegekategorie) |
| H                    | Waldweg                      | 440 m (WKA 03)<br>105 m (WKA 05)<br>390 m (WKA 06)<br>190 m (WKA 07)<br>65 m (WKA 08)<br>455 m (WKA 10) | regelmäßig                          |
| I                    | Waldweg / Wanderweg / Radweg | 200 m (WKA 04)<br>90 m (WKA 06)<br>325 m (WKA 08)   | regelmäßig                          |
| J                    | Waldweg                      | 100 m (WKA 06)<br>220 m (WKA 08)  | selten                              |
| K                    | Waldweg                      | 200 m (WKA 06)<br>355 m (WKA 08)  | selten                              |
| L                    | Waldweg                      | 395 m (WKA 06)<br>245 m (WKA 08)  | selten                              |
| M                    | Waldweg                      | 555 m (WKA 05)<br>485 m (WKA 06)<br>185 m (WKA 08)<br>185 m (WKA 10)                                    | gelegentlich                        |
| N                    | Waldweg / Wanderweg          | 380 m (WKA 07)<br>370 m (WKA 08)<br>580 m (WKA 09)<br>50 m (WKA 10)                                     | regelmäßig                          |
| O                    | Waldweg                      | 590 m (WKA 03)  | häufig                              |
| P                    | Waldweg                      | 450 m (WKA 05)<br>85 m (WKA 07)<br>510 m (WKA 09)<br>385 m (WKA 10)                                     | häufig                              |
| Q                    | Waldweg                      | 300 m (WKA 09)  | gelegentlich                        |
| R                    | Waldweg                      | 135 m (WKA 07)<br>270 m (WKA 09)  | häufig                              |
| S                    | Waldweg                      | 250 m (WKA 07)<br>105 m (WKA 09)  | gelegentlich                        |
| T                    | Waldweg                      | 435 m (WKA 05)<br>120 m (WKA 07)<br>525 m (WKA 09)<br>230 m (WKA 10)                                    | gelegentlich                        |

Tabelle 6: Untersuchungsobjekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte (Teil 2 von 3).

Seite 18 von 76

Zeichen/Erstelldatum: IS-ESW-RGB/JH/WEI / 08.08.2018

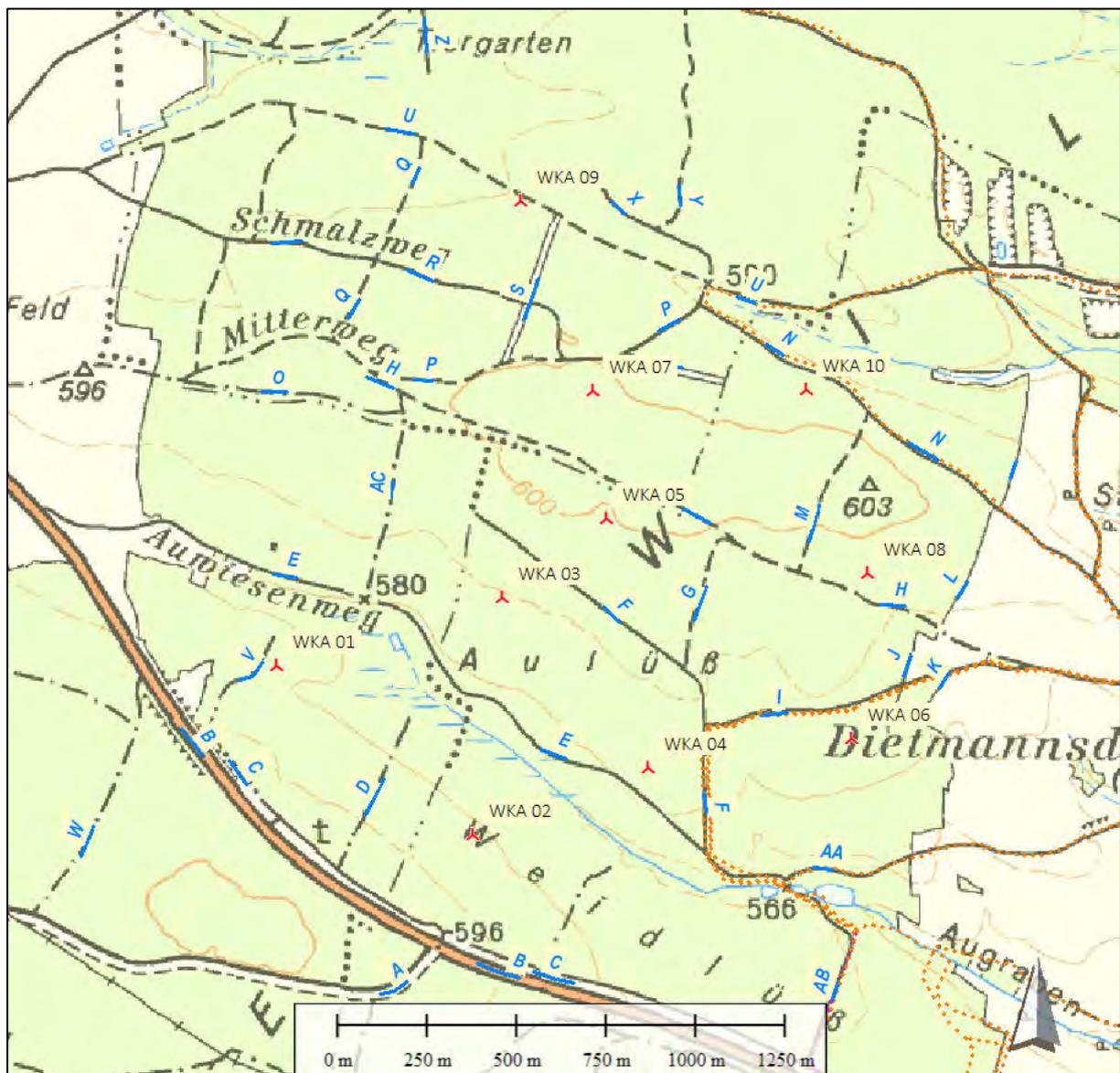
Standort: Wild (AT)

Bericht Nr.: MS-1504-029-AT-ICE-RA-de

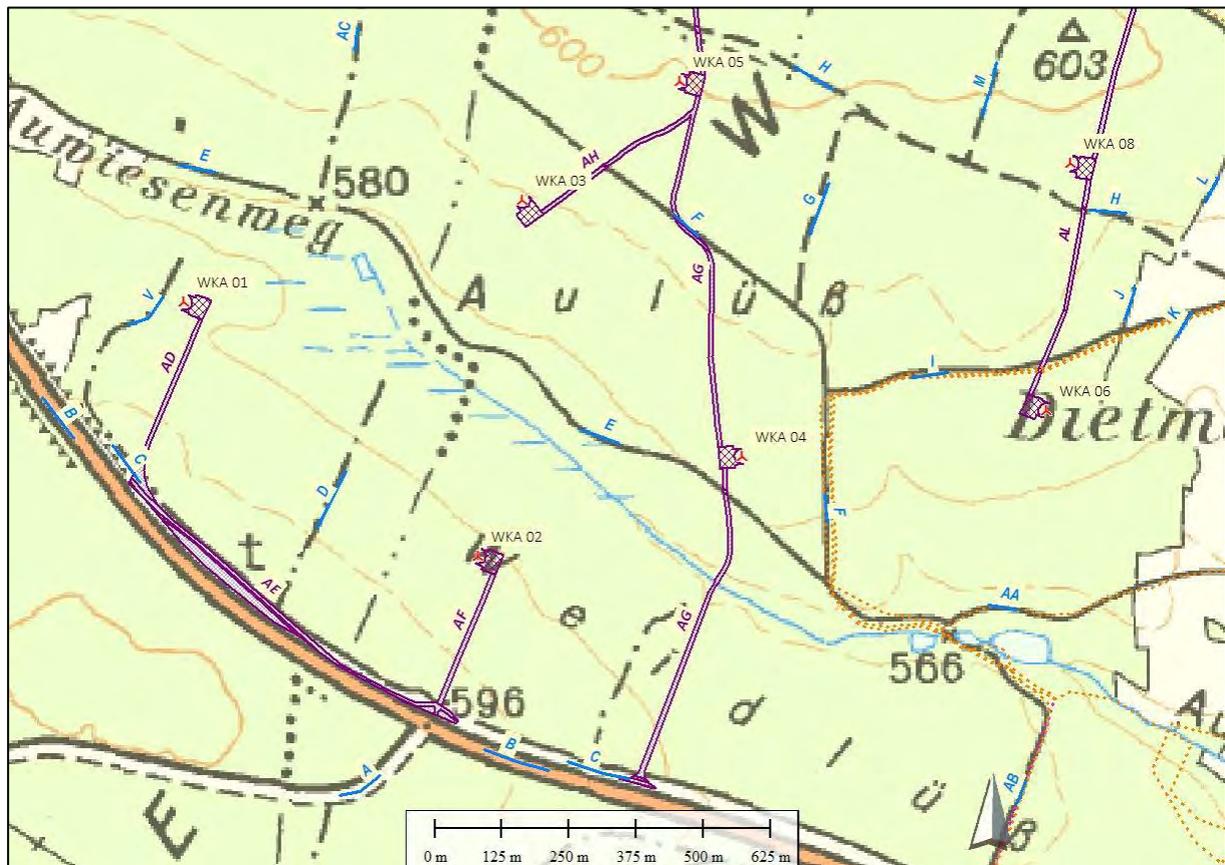
Revision: 2

| Untersuchungsobjekte |                                    |   |                                     |
|----------------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Bezeichnung          | Objekt                             | Minimaler Abstand zur jeweiligen WEA                | Expositionsszenario (Wegekategorie) |
| U                    | Waldweg / teilweise Wanderweg (L3) | 395 m (WKA 07)<br>< 10 m (WKA 09)<br>225 m (WKA 10) | regelmäßig                          |
| V                    | Waldweg                            | 40 m (WKA 01)                                       | selten                              |
| W                    | Waldweg                            | 385 m (WKA 01)                                      | gelegentlich                        |
| X                    | Waldweg                            | 385 m (WKA 07)<br>230 m (WKA 09)<br>385 m (WKA 10)  | gelegentlich                        |
| Y                    | Waldweg                            | 490 m (WKA 07)<br>390 m (WKA 09)                    | gelegentlich                        |
| Z                    | Waldweg                            | 445 m (WKA 09)                                      | gelegentlich                        |
| AA                   | Waldweg / Wanderweg                | 490 m (WKA 04)<br>375 m (WKA 06)                    | häufig                              |
| AB                   | Waldweg / Wanderweg / Radweg       | 445 m (WKA 06)                                      | häufig                              |
| AC                   | Waldweg                            | 375 m (WKA 03)<br>545 m (WKA 07)                    | selten                              |

**Tabelle 7: Untersuchungsobjekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte (Teil 3 von 3).**



**Abbildung 4:** Topographische Karte [21] mit den untersuchten Straßen und Wegen am geplanten Standort Wild (mit den Buchstaben A bis AC gekennzeichnet) sowie Standorte der geplanten WEA (▲). Die Linien der Kennzeichnung — · · · — stellen Gemeindegrenzen dar und die orange Punkt-Linie stellt einen Wanderweg dar, die margenta farbigen Punkte den Radweg.



**Abbildung 5:** Topographische Karte [21] mit den untersuchten Zuwegungen (lila Wegführung mit den Bezeichnungen AD bis AL) und Kranstellflächen (lila schraffierte Bereiche) an den geplanten WEA-Standorten (▲) im südlichen Teil des Windparks. Die Linien der Kennzeichnung — · · · — stellen Gemeindegrenzen dar und die orange Punkt-Linie stellt einen Wanderweg dar, die margenta farbigen Punkte den Radweg.

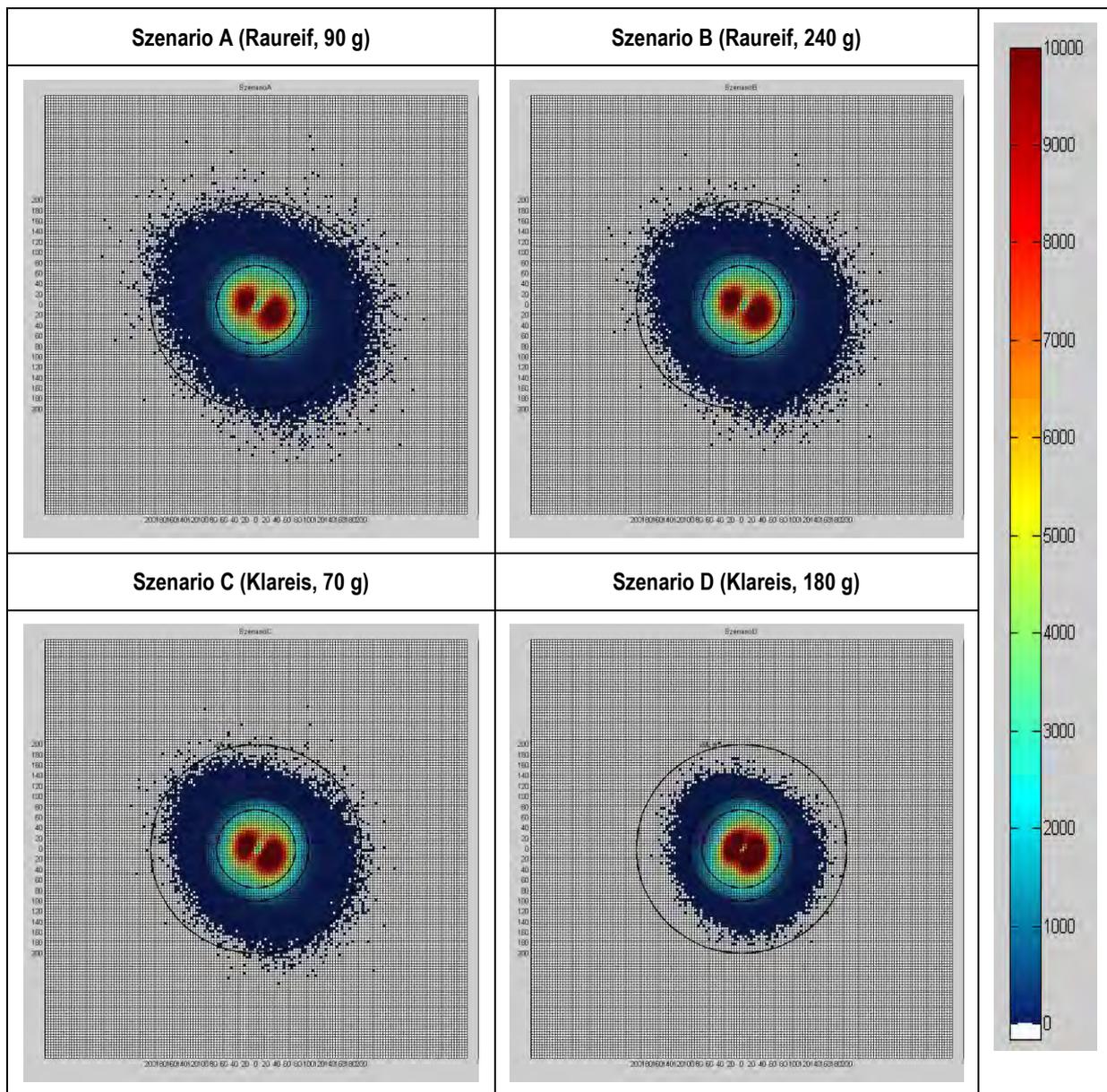


**Abbildung 6:** Topographische Karte [21] mit den untersuchten Zuwegungen (lila Wegführung mit den Bezeichnungen AH bis AL) und Kranstellflächen (lila schraffierte Bereiche) an den geplanten WEA-Standorten (⚡) im nördlichen Teil des Windparks. Die Linien der Kennzeichnung — · · · — stellen Gemeindegrenzen dar und die orange Punkt-Linie stellt einen Wanderweg dar, die margenta farbigen Punkte den Radweg.

### 3 Darstellung der Berechnungsergebnisse für Eisfall bei Trudelbetrieb

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Berechnungen für die vier untersuchten Szenarien A bis D dargestellt.

Die Abbildungen zeigen die simulierten Trefferhäufigkeiten in den einzelnen Quadranten von 5x5 m<sup>2</sup> Fläche. Die Farbcodierung stellt die Summe der in den Quadranten gezählten Treffer durch ein herabfallendes Eisstück dar. Als Obergrenze der Farbskala in der Darstellung wurden 10'000 Treffer pro Quadrantfläche festgelegt. Somit wurden alle Quadranten, die 10'000 bzw. mehr Treffer aufweisen, im gleichen Farbton dargestellt. In den Abbildungen wurden Abstandskreise in je 75 m (Rotorradius), 100 m sowie 200 m Abstand eingefügt.



**Abbildung 7:** Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für die untersuchten Szenarien. Die Ergebnisse sind für alle 10 geplanten Anlagenstandorte im Windpark Wild gültig. Die Farbskala zeigt die Anzahl der Treffer pro Quadrantfläche. Hilfsweise sind in den Abbildungen Abstandskreise für den Rotorradius sowie für die Entfernung von 100 m und 200 m vom Anlagenmittelpunkt eingetragen.

Wie aus den vorangegangenen Abbildungen ersichtlich ist, wurden die größten Fallweiten in jedem Szenario nordwest- bzw. südostseitig der Anlage berechnet. Dies kommt zum einen durch die stark ausgeprägte nordwestliche und südöstliche Hauptwindrichtung zustande, wobei die Eisstücke vom Wind in Mitwindrichtung transportiert werden. Die größten Fallweiten wurden durch die vorkommenden stärksten Windgeschwindigkeiten verursacht, wobei den größten Anteil an hohen Windgeschwindigkeiten die Sektoren WNW, NNW und OSO aufweisen.

Zum anderen spielt auch die Ausrichtung der Anlage im rechten Winkel zur jeweiligen Windrichtung eine wichtige Rolle. Da die westnordwestlichen bzw. ostsüdöstlichen Sektoren die größten Häufigkeiten aufzeigen, kommen die entsprechenden Ausrichtungen der Anlage ebenfalls am häufigsten vor. Somit würde diese rechtwinklige Richtungskomponente, die das Eisstück beim Lösen vom Rotorblatt erhält, in einer etwa Nordost-Südwest-Ausrichtung der mit hohen Trefferhäufigkeiten simulierten Bereiche (in den Abbildungen in Gelb bis Rot dargestellt) erwartet werden. In diesen Bereichen sind die Fallweiten bei eher geringeren Windgeschwindigkeiten simuliert worden, wobei der Effekt der Anfangsgeschwindigkeit durch die trudelnde Anlage den Einfluss des Windes und dessen Ablenkung überwiegen kann.

Dieses Muster ist im vorliegenden Fall in keinem der Szenarien gut zu beobachten. Durch die ausgeprägte Hauptwindrichtung und den hohen Anteil an größeren Windgeschwindigkeiten dominiert die Verfrachtung der Eisstücke in Mitwindrichtung die Verteilung der mit hohen Trefferhäufigkeiten simulierten Bereiche.

Die größten Fallweiten wurden in den betrachteten Szenarien A und B berechnet. Hierbei sind einzelne Treffer bis zu 361 m bzw. 395 m von der Anlage simuliert worden, wobei die ermittelten Treffer ab einer Entfernung von ca. 230 m nur sehr geringe Trefferhäufigkeiten (unter 0.0001% pro untersuchte Zelle) aufweisen.

Generell stellen in den Abbildungen die dunkelblau gefärbten Zellen Bereiche mit geringen Trefferhäufigkeiten dar, in denen das Gefährdungspotenzial als eher gering abgeschätzt werden kann.

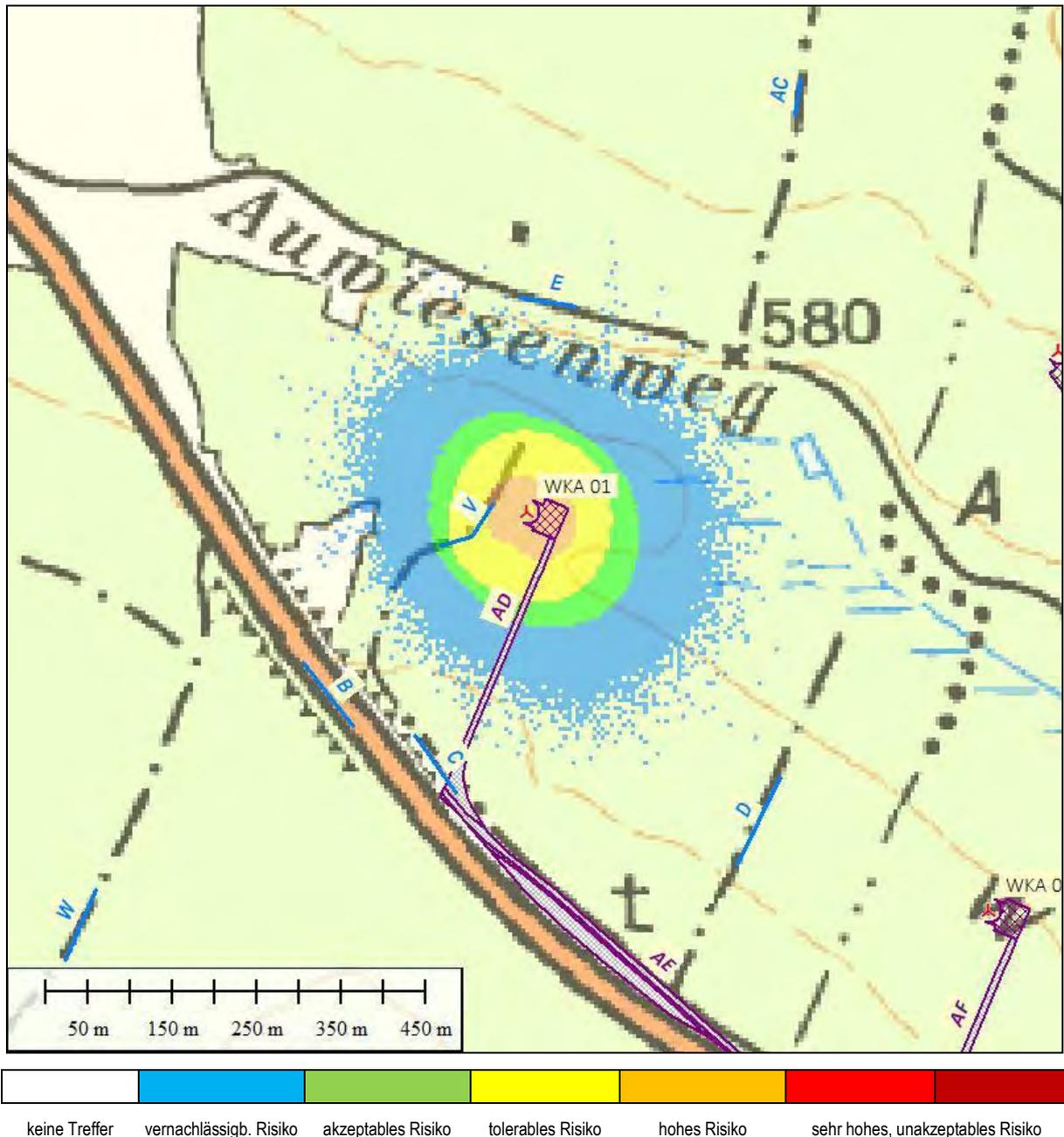
#### **4 Ermittlung des von den Anlagen ausgehenden Gesamtrisikos**

In den folgenden Kapiteln 4.1 bis 4.11 werden die Risiken für alle Objekte aus den Tabellen 5 bis 7 sowie die Zuwegungen und Kranstellflächen ermittelt, dargestellt und ggf. Maßnahmen empfohlen. Bei Objekten die hier nicht betrachtet werden, ist es offensichtlich, dass das Risiko vernachlässigbar ist, da keine Treffer bzw. nur Einzeltreffer ermittelt wurden.

Es wird im Folgenden davon ausgegangen, dass Wald- und Forstarbeiter sowie Servicearbeiter des Windparks aufgrund ihrer Tätigkeit persönliche Schutzausrüstung tragen bzw. durch ein Fahrzeug entsprechend geschützt sind.

#### 4.1 Risiko für WKA01

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA01 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 8:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA01 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf selten benutzten Wegen (Weg V).

In der folgenden Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA01 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WEA |                                     |  |   |
|-------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen   | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| B                       | 1.55E-08 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| C                       | 3.46E-11 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| D                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| E                       | 9.89E-12 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| V                       | 1.32E-07 (tolerabel)                | <p>Grundsätzlich sind bei tolerablen keine zusätzlichen Maßnahmen zwingend erforderlich, müssen unter Kosten-Nutzen Aspekten jedoch abgewägt werden. Unter dem Aspekt potenzielle Risiken vermeiden zu können, sind Warnschilder bei tolerablen Risiken als Maßnahme angemessen.</p> <p>Deshalb wird empfohlen, Warnschilder, die vor der spezifischen Gefährdung durch Eisfall (mind 130 m von der WKA entfernt) warnen. Dies kann durch Warnhinweise an den Eingängen zum Windpark ergänzt werden.</p> <p>Durch diese Warnschilder soll vermieden werden, dass sich Personenn länger als nötig im Gefahrenbereich aufhalten.</p> | akzeptabel                                      |

**Tabelle 8: Risiken ausgehend von der WKA01.**

Für den Weg V liegt das Risiko im tolerablen Bereich. Es wird empfohlen, im Abstand von ca. 130 m zur WKA ein Warnschild anzubringen. Darüber hinaus kann das Risiko weiter reduziert werden, wenn zusätzlich am Eingang zum Windpark Warnhinweise angebracht werden. Diese sollten davor warnen, sich bei winterlichen Bedingungen unnötig lange in der Nähe der Windenergieanlagen aufzuhalten und darauf hinweisen, auf den ausgeschilderten Wegen zu bleiben.

Für die Landesstraße B2 (Objekt B) liegt das kollektive und das individuelle Risiko für Autofahrer im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig.

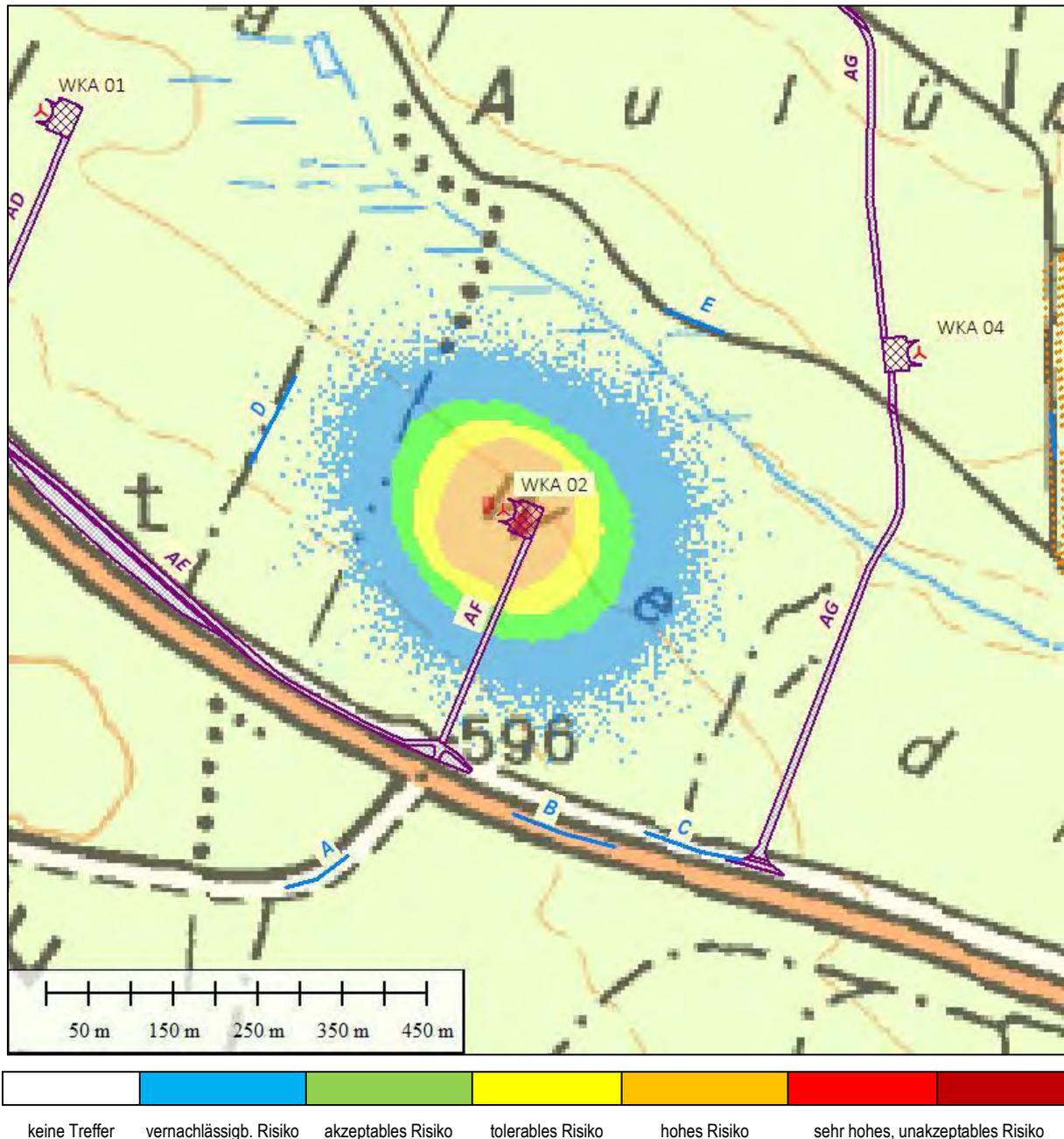
Für die Wege C, D und E liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung AD erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

## 4.2 Risiko für WKA02

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA02 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 9:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA02 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege C und E).

In der folgenden Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA02 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WEA |                                     |                      |   |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| A                       | 1.55E-09 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| B                       | 1.55E-08 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| C                       | 3.46E-11 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| D                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| E                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 9: Risiken ausgehend von der WKA02.**

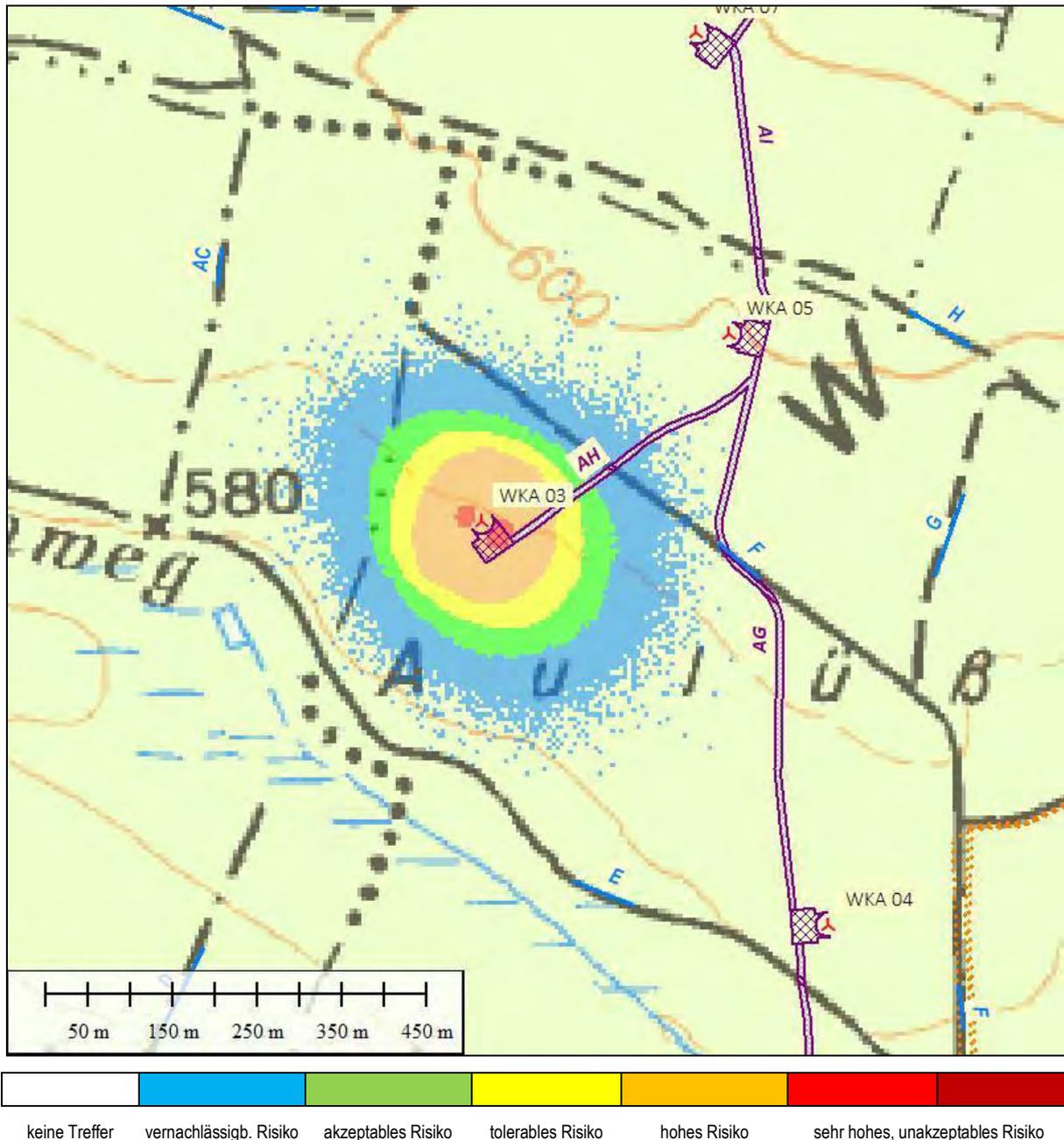
Für die Straße A sowie die Landesstraße B2 (Objekt B) liegt das kollektive und das individuelle Risiko für Autofahrer im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig.

Für die Wege C, D und E liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung AF erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

### 4.3 Risiko für WKA03

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA03 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 10:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA03 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege E, F, G und H).

In der folgenden Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA03 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WEA |                                     |                      |   |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| E                       | 9.44E-11 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| F                       | 5.13E-09 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| G                       | 4.92E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| H                       | 4.92E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| O                       | 1.56E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| AC                      | 1.56E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |

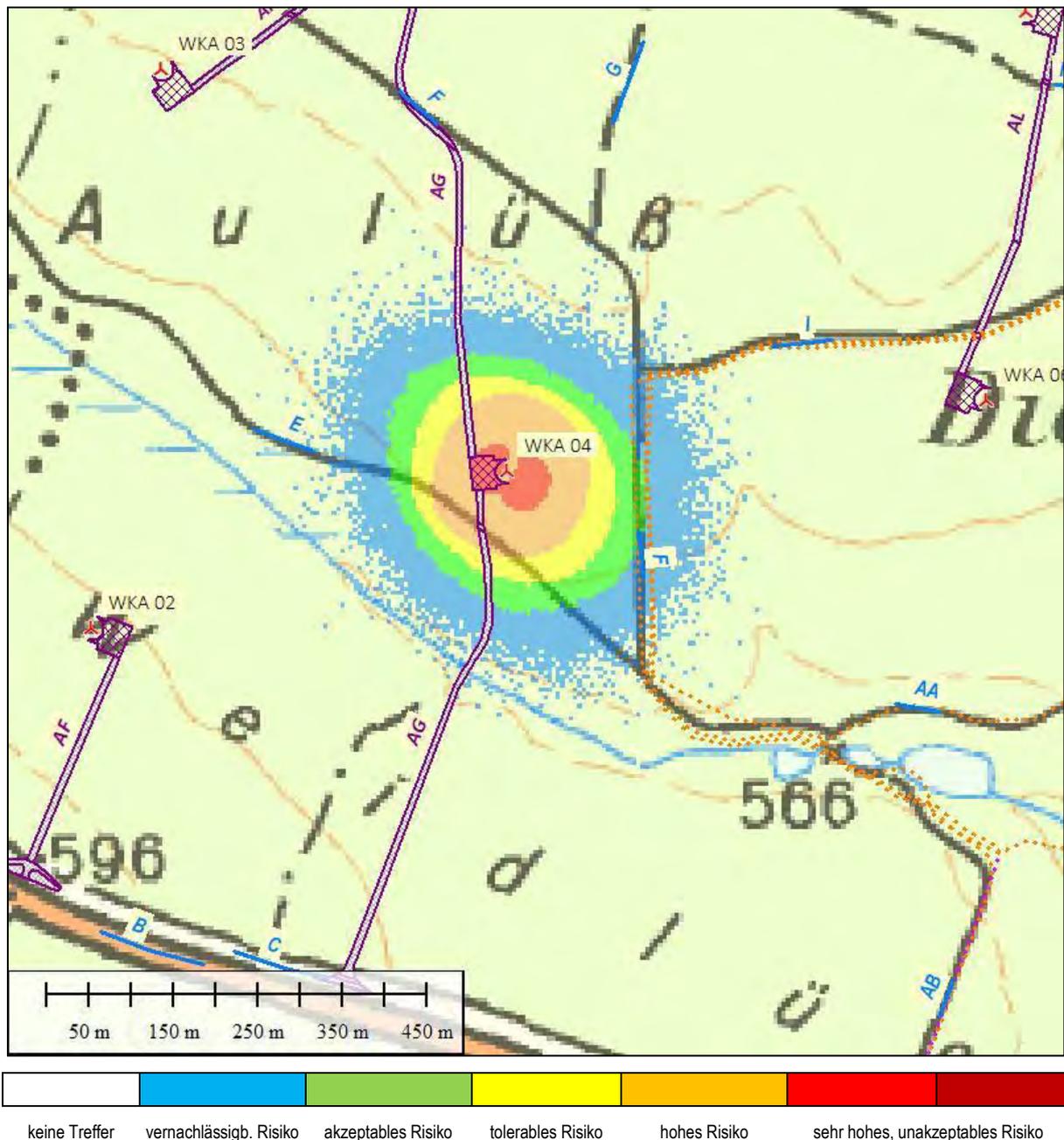
**Tabelle 10: Risiken ausgehend von der WKA03.**

Für die Wege *E*, *F*, *G*, *H*, *O* und *AC* liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *AH* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

#### 4.4 Risiko für WKA04

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA04 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 11: Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA04 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege E, F, G und J).**

In der folgenden Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA04 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WEA |                                     |  |   |
|-------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen   | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| E                       | 1.70E-06 (hoch)                     | Aufstellen einer Beschilderung mit einer an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, das von Durchgang bei Eisfallbedingungen dringend abrät. | akzeptabel                                      |
| F                       | 1.32E-08 (akzeptabel)               | keine  | akzeptabel                                      |
| G                       | 4.92E-12 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| I                       | 2.39E-10 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| AA                      | 4.93E-12 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 11: Risiken ausgehend von der WKA04.**

Für den Weg *E* liegt das Risiko im hohen Bereich. Eine Benutzung des Weges bei Eisfallbedingungen sollte vermieden werden. Durch intelligente Wegführung im Winter, insbesondere aber durch an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, kann das Risiko jedoch in den tolerablen Bereich reduziert werden.

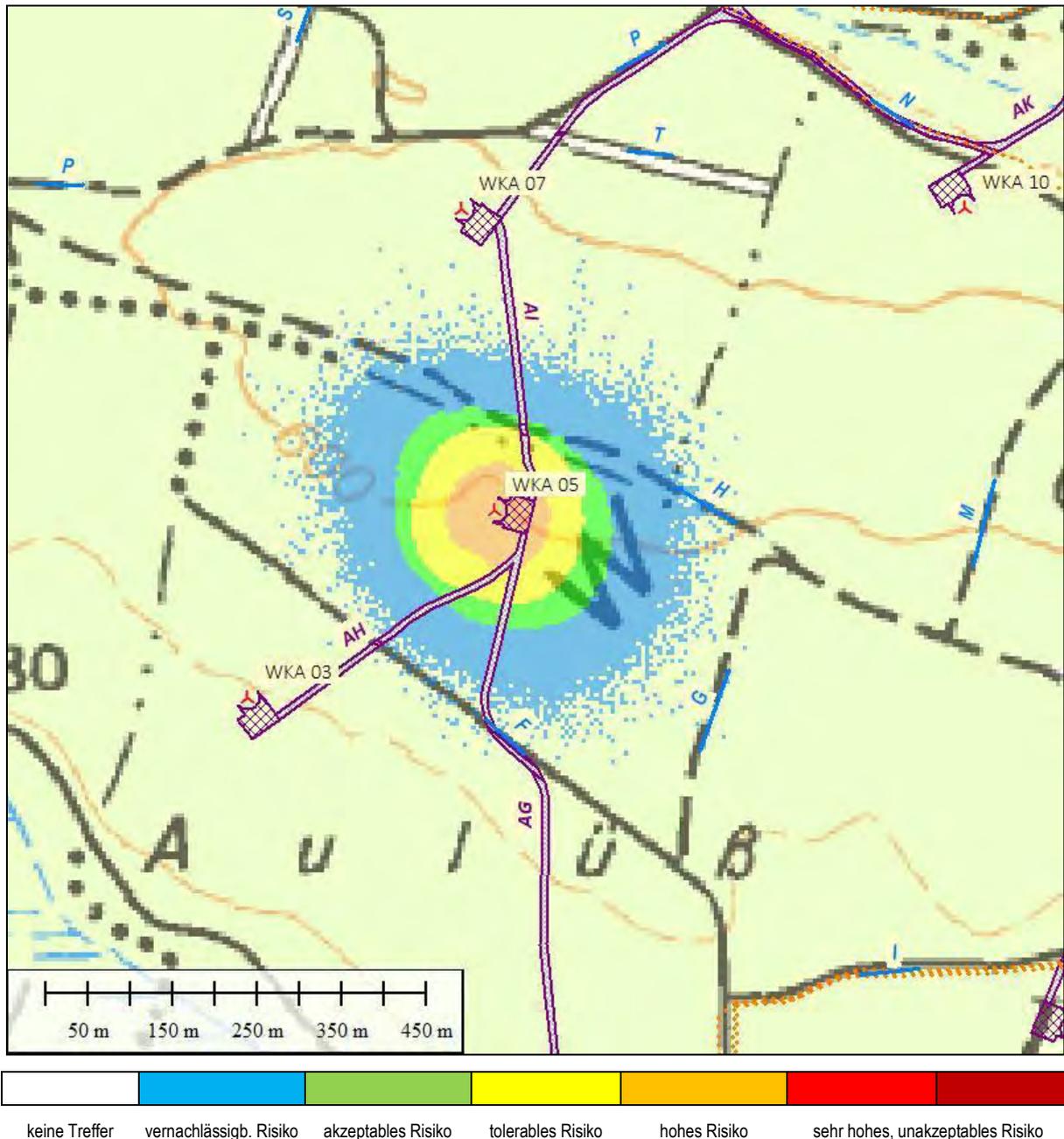
Für die Wege *F*, *G*, *I* und *AA* liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren bzw. akzeptablen Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *AG* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

#### 4.5 Risiko für WKA05

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA05 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 12:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA05 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege F, G und H).

In der folgenden Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA05 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WEA |                                     |                      |   |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| F                       | 7.06E-10 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| G                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| H                       | 9.16E-08 (akzeptabel)               | keine                | akzeptabel                                      |
| M                       | 4.92E-13 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| P                       | 1.57E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |
| T                       | 1.57E-12 (vernachlässigbar)         | keine                | vernachlässigbar                                |

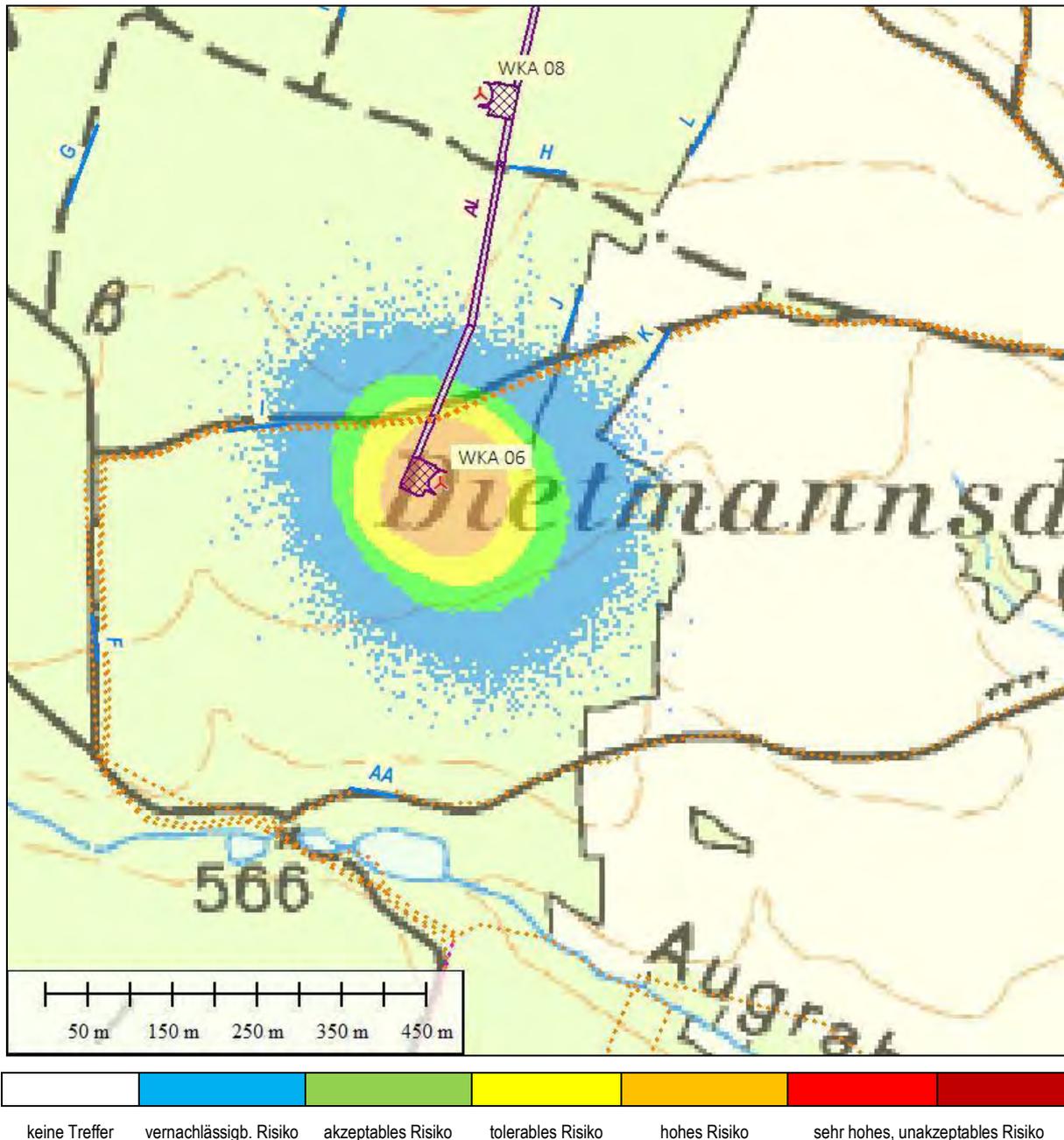
**Tabelle 12: Risiken ausgehend von der WKA05.**

Für die Wege *F*, *G*, *H*, *M*, *P* und *T* liegt das individuelle Risiko für im vernachlässigbaren bzw. akzeptablen Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *AH*, *AG* und *AI* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

#### 4.6 Risiko für WKA06

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA06 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 13:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA06 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege F, G, H und I).

In der folgenden Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA06 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WEA |                                     |   |   |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen  | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| F                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| G                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| H                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| I                       | 3.96E-07 (tolerabel)                | Grundsätzlich sind bei tolerablen Risiken keine zusätzlichen Maßnahmen zwingend erforderlich, müssen unter Kosten-Nutzen Aspekten jedoch abgewägt werden. Unter dem Aspekt potenzielle Risiken vermeiden zu können, sind Warnschilder bei tolerablen Risiken als Maßnahme angemessen.<br><br>Deshalb wird empfohlen, Warnschilder, die vor der spezifischen Gefährdung durch Eisfall (mind 130 m von der WKA entfernt) warnen. Dies kann durch Warnhinweise an den Eingängen zum Windpark ergänzt werden.<br><br>Durch diese Warnschilder soll vermieden werden, dass sich Personenn länger als nötig im Gefahrenbereich aufhalten. | akzeptabel                                      |
| J                       | 1.78E-08 (akzeptabel)               | keine   | akzeptabel                                      |
| K                       | 6.87E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| L                       | 1.57E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| M                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| AA                      | 4.92E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 13: Risiken ausgehend von der WKA06.**

Für den Weg I liegt das Risiko im tolerablen Bereich. Es wird empfohlen, im Abstand von ca. 130 m zur WKA ein Warnschild anzubringen. Darüber hinaus kann das Risiko weiter reduziert werden, wenn zusätzlich am Eingang zum Windpark Warnhinweise angebracht werden. Diese sollten davor warnen, sich bei winterlichen Bedingungen unnötig lange in der Nähe der Windenergieanlagen aufzuhalten und darauf hinweisen, auf den ausgeschilderten Wegen zu bleiben.

Für die Wege F, G, H, J, K, L, M und AA liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren bzw. akzeptablen Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten..

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung AL erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

Seite 38 von 76

Zeichen/Erstelldatum: IS-ESW-RGB/JH/WEI / 08.08.2018

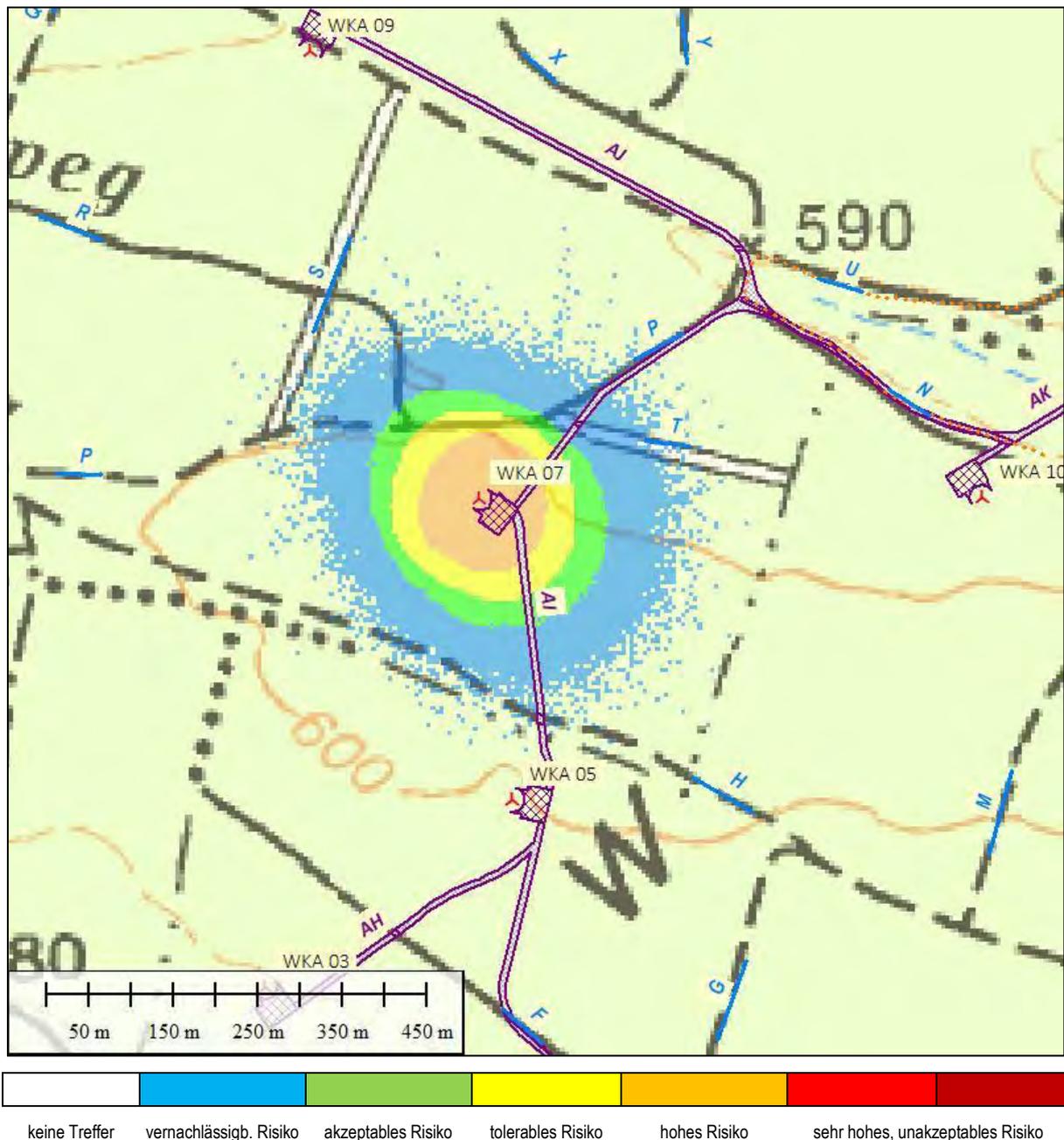
Standort: Wild (AT)

Bericht Nr.: MS-1504-029-AT-ICE-RA-de

Revision: 2

#### 4.7 Risiko für WKA07

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA07 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 14:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA07 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf häufig benutzten Wegen (Weg P).

In der folgenden Tabelle 14 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA07 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WKA |                                     |   |   |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen  | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| F                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| G                       | 9.98E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| H                       | 1.22E-09 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| N                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| P                       | 1.98E-07 (tolerabel)                | Grundsätzlich sind bei tolerablen Risiken keine zusätzlichen Maßnahmen zwingend erforderlich, müssen unter Kosten-Nutzen Aspekten jedoch abgewägt werden. Unter dem Aspekt potenzielle Risiken vermeiden zu können, sind Warnschilder bei tolerablen Risiken als Maßnahme angemessen.<br><br>Deshalb wird empfohlen, Warnschilder, die vor der spezifischen Gefährdung durch Eisfall (mind 130 m von der WKA entfernt) warnen. Dies kann durch Warnhinweise an den Eingängen zum Windpark ergänzt werden.<br><br>Durch diese Warnschilder soll vermieden werden, dass sich Personenn länger als nötig im Gefahrenbereich aufhalten. | akzeptabel                                      |
| R                       | 5.65E-09 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| S                       | 1.57E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| T                       | 1.87E-09 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| U                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| X                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| Y                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| AC                      | 1.57E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 14: Risiken ausgehend von der WKA07.**

Für den Weg *P* liegt das Risiko im tolerablen Bereich. Es wird empfohlen, im Abstand von ca. 130 m zur WKA ein Warnschild anzubringen. Darüber hinaus kann das Risiko weiter reduziert werden, wenn zusätzlich am Eingang zum Windpark Warnhinweise angebracht werden. Diese sollten davor warnen, sich bei winterlichen Bedingungen unnötig lange in der Nähe der Windenergieanlagen aufzuhalten und darauf hinweisen, auf den ausgeschilderten Wegen zu bleiben.

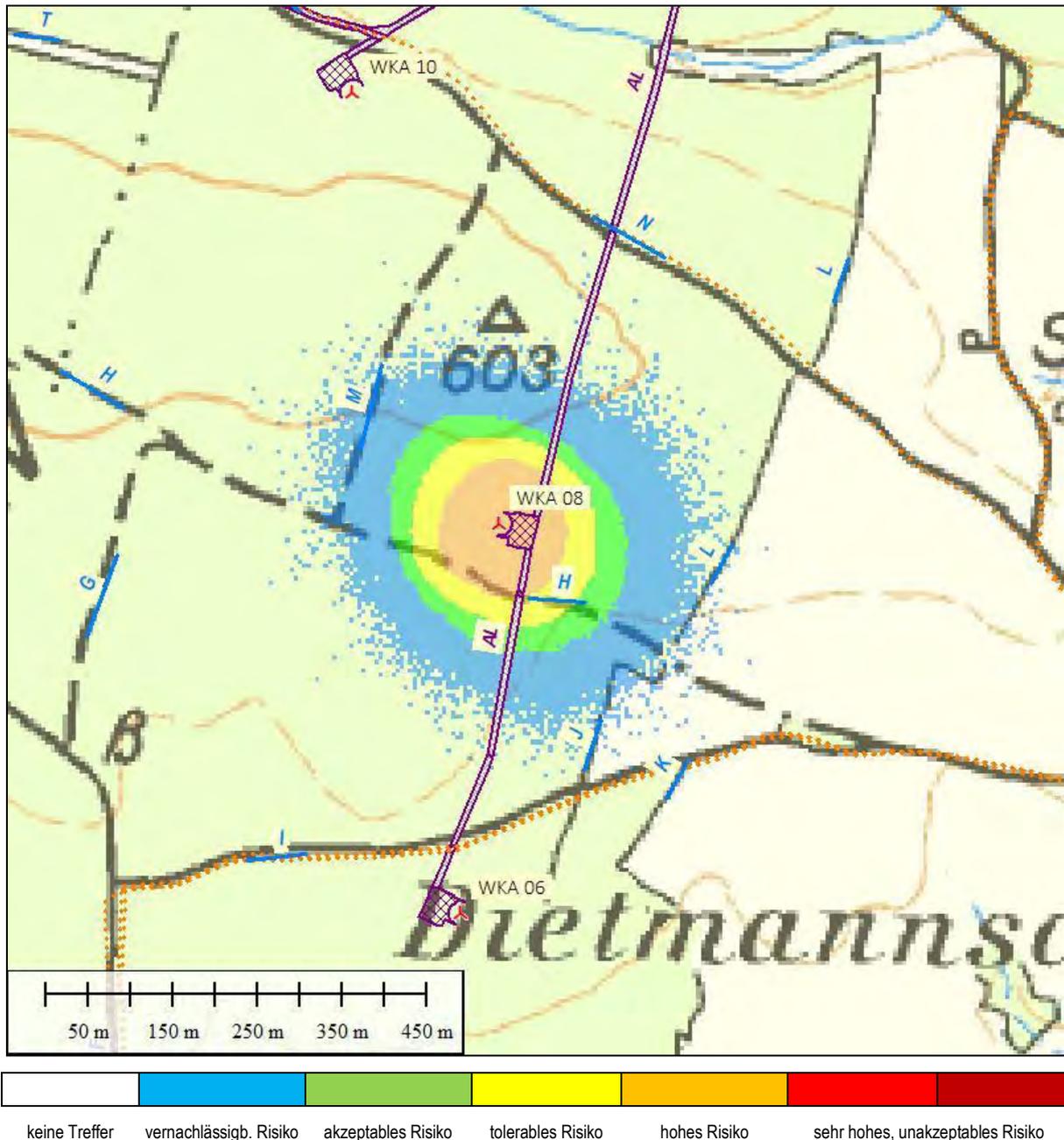
Für die Wege *F, G, H, N, R, S, T, U, X, Y* und *AC* liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *A* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

#### 4.8 Risiko für WKA08

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA08 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 15:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA08 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege F, G, H, I und N).

In der folgenden Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA08 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WKA |                                     |  |   |
|-------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen   | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| F                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| G                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| H                       | 2.61E-06 (hoch)                     | Aufstellen einer Beschilderung mit einer an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, das von Durchgang bei Eisfallbedingungen dringend abrät. | akzeptabel                                      |
| I                       | 6.99E-12 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| J                       | 2.31E-11 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| K                       | 1.56E-13 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| L                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| M                       | 3.57E-11 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |
| N                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine  | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 15: Risiken ausgehend von der WKA08**

Für den Weg *H* liegt das Risiko im hohen Bereich. Eine Benutzung des Weges bei Eisfallbedingungen sollte vermieden werden. Durch intelligente Wegführung im Winter, insbesondere aber durch an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, kann das Risiko jedoch in den tolerablen Bereich reduziert werden.

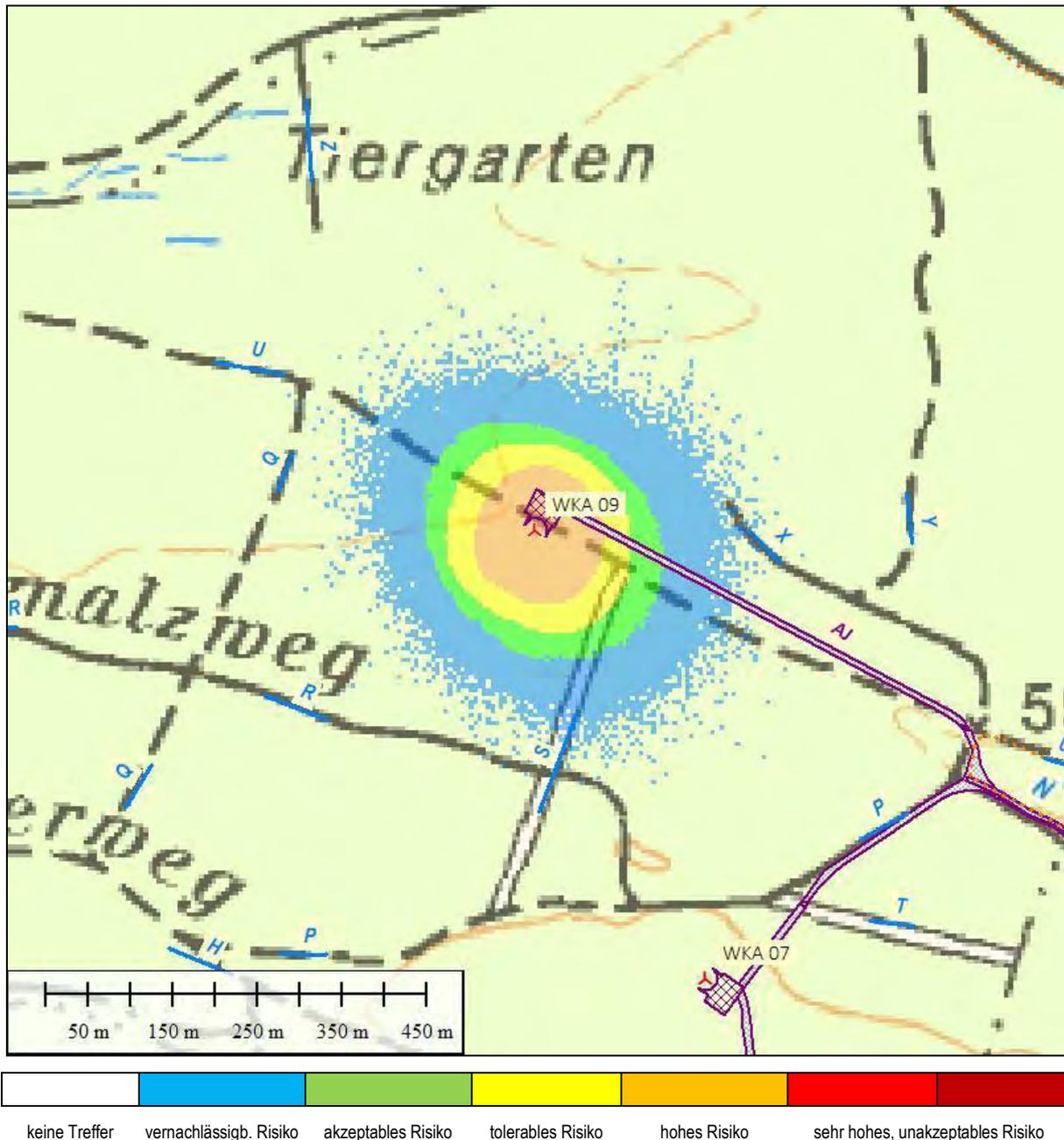
Für die Wege *F*, *G*, *I*, *J*, *K*, *L*, *M* und *N* liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *AL* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

#### 4.9 Risiko für WKA09

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA09 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 16:** Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA09 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wege N und U).

In der folgenden Tabelle 16 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA09 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WKA |                                     |   |   |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen  | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| N                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| P                       | 1.57E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| Q                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| R                       | 1.09E-11 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| S                       | 2.34E-08 (akzeptabel)               | keine   | akzeptabel                                      |
| T                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| U                       | 6.89E-06 (hoch)                     | Aufstellen einer Beschilderung mit einer an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, das von Durchgang bei Eisfallbedingungen dringend abrät | akzeptabel                                      |
| X                       | 2.12E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| Y                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| Z                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 16: Risiken ausgehend von der WKA09.**

Für den Weg *U* liegt das Risiko im hohen Bereich. Eine Benutzung des Weges bei Eisfallbedingungen sollte vermieden werden. Durch intelligente Wegführung im Winter, insbesondere aber durch an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, kann das Risiko jedoch in den tolerablen Bereich reduziert werden.

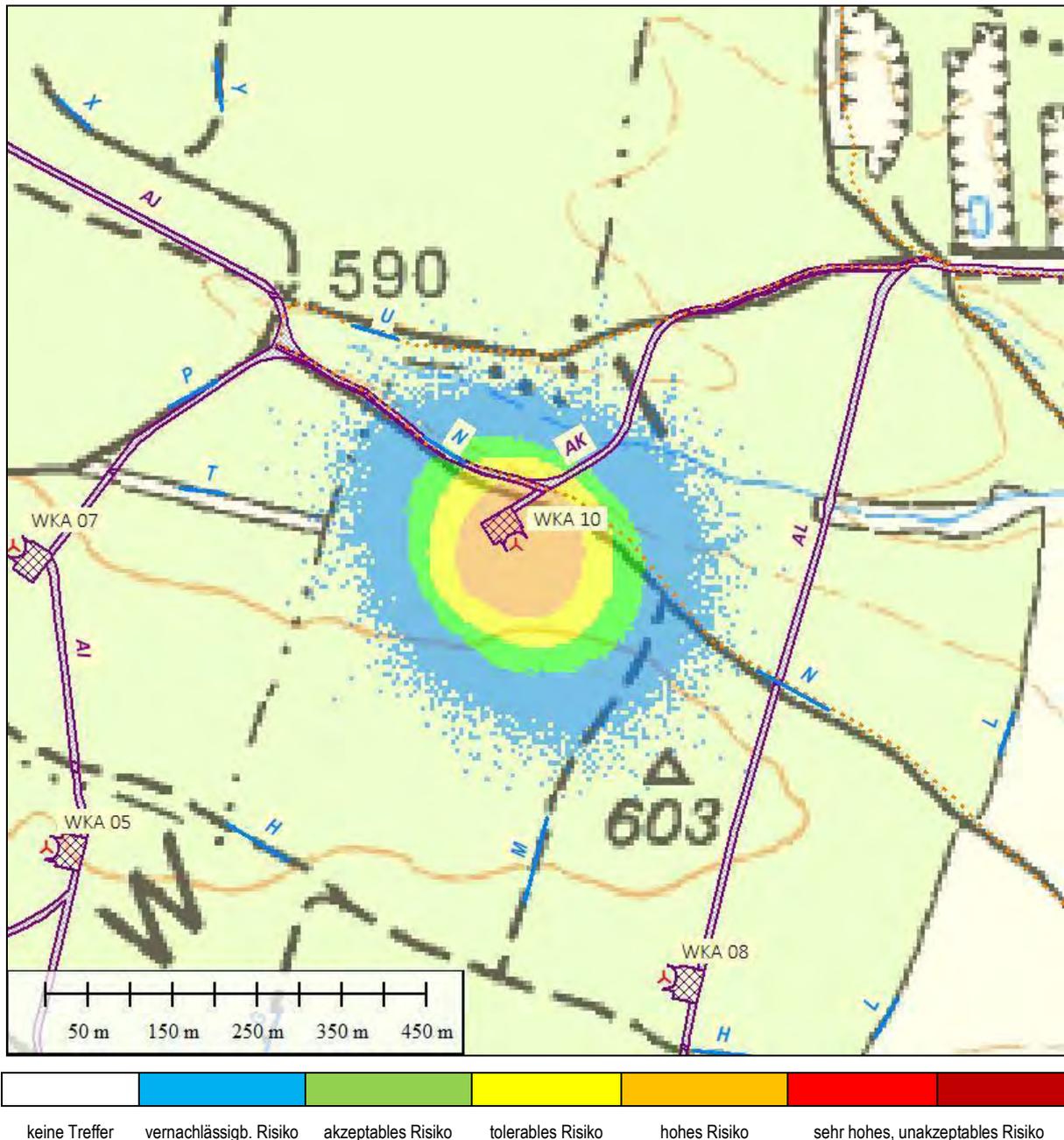
Für die Wege *N*, *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, *X*, *Y* und *Z* liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren bzw. akzeptablen Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *AJ* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

#### 4.10 Risiko für WKA10

Aus der folgenden Abbildung ist die Lage der Wege in Relation zur WKA10 dargestellt. Für alle im Wirkungsbereich liegenden Wege und Objekte wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Außerdem wird dargestellt, ob für einen Quadranten überhaupt ein Treffer mit einem Eisstück simuliert wurde und wie groß das sich ergebende Risiko im Falle von Treffern mit Eisstücken gemäß der beschriebenen Methodik in Kapitel 7.6 ist.



**Abbildung 17: Übersicht zur Lage der Untersuchungsobjekte an der WKA10 und des Risikoprofils für das individuelle Risiko für Fußgänger auf regelmäßig benutzten Wegen (Wegen G, H, N und U).**

In der folgenden Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für die WKA10 zusammengefasst.

| Risikobewertung der WKA |                                     |   |   |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Objekt                  | Risiko (1/a) ohne weitere Maßnahmen | Empfohlene Maßnahmen  | Risikoeinschätzung nach Umsetzung der Maßnahmen |
| G                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| H                       | 4.95E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| M                       | 1.84E-10 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| N                       | 2.64E-06 (hoch)                     | Aufstellen einer Beschilderung mit einer an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, das von Durchgang bei Eisfallbedingungen dringend abrät | akzeptabel                                      |
| P                       | 1.57E-12 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| T                       | 1.68E-11 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| U                       | 1.48E-11 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |
| X                       | 4.95E-13 (vernachlässigbar)         | keine   | vernachlässigbar                                |

**Tabelle 17: Risiken ausgehend von der WKA10.**

Für den Weg *N* liegt das Risiko im hohen Bereich. Eine Benutzung des Weges bei Eisfallbedingungen sollte vermieden werden. Durch intelligente Wegführung im Winter, insbesondere aber durch an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, kann das Risiko jedoch in den tolerablen Bereich reduziert werden.

Für die Wege *G*, *H*, *M*, *P*, *T*, *U* und *X* liegt das individuelle Risiko für Fußgänger im vernachlässigbaren Bereich, Maßnahmen sind hier nicht notwendig. Das Risiko für Radfahrer ist wegen der geringeren Expositionszeit etwas niedriger und im Wert für Fußgänger abdeckend enthalten.

Die Risikobeurteilung für die Kranstellfläche sowie die Zuwegung *AK* erfolgt gesondert im nachfolgenden Kapitel 4.11.

Eine Empfehlung zur Maßnahmenumsetzung ist bereits in Abschnitt 1 erfolgt.

#### **4.11 Risiko für Kranstellflächen und Zuwegung**

Es wird empfohlen, die Kranstellflächen mit an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchten/Lichtzeichen und Schildern zu versehen, die bei aktivem Lichtzeichen von Durchgang bei Eisfallbedingungen dringend abraten.

Hierdurch lässt sich das Risiko in den akzeptablen Bereich reduzieren.

## 5 Hinweise zur Erstellung der Analyse

- Bezugnehmend auf die Dokumente, die über die Eignung des Eiserkennungssystems zur zuverlässigen Abschaltung der Anlage bei Vereisung vorlagen (siehe Abschnitt 2.2), wurden die Berechnungen bei einer im Trudelbetrieb befindlichen Anlage durchgeführt. Eine Berechnung von Wurfweiten während des laufenden Betriebs fand nicht statt.
- Als Eingangsparameter für die Umdrehungszahl im Trudelbetrieb wurde die vom Anlagenhersteller mitgeteilte maximale Umdrehungszahl von 2.14 U/min verwendet [7].
- Die Bestimmung des Windfeldes aus gemessenen Daten für einen Langzeitraum, die Extrapolation auf die geplante Nabenhöhe sowie die Modellierung an den einzelnen geplanten WEA-Standorten ist trotz einer standortspezifischen Windmessung mit Unsicherheiten verbunden. Die im Rahmen des meteorologischen Gutachtens erzeugte und zur Verfügung gestellte Windstatistik wurde mit einem Unsicherheitszuschlag versehen. Diesem liegt die Unsicherheitsbetrachtung des meteorologischen Gutachtens hinsichtlich der meteorologischen Eingangsdaten sowie der Windfeldmodellierung zugrunde [5][8].
- Für die Berechnungen wurde eine ganzjährige Windstatistik verwendet, d.h. es werden die über das ganze Jahr verteilten Windereignisse in eine mittlere Windstatistik zusammengefasst. Die Betrachtung der jahreszeitlich abhängigen bzw. bei Eisfallbedingungen tatsächlich vorherrschenden Windverhältnisse ist basierend auf der verfügbaren Datengrundlage nicht möglich.
- Die Ergebnisse der Simulationen zeigen demnach eine statistische Verteilung der Fallweiten von insgesamt 5 Millionen herunterfallenden Eisstücken pro Szenario. Eine Aussage über die Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit von auftretendem Eisfall am Standort wird nicht getroffen.
- An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die orographischen Bedingungen am Standort sowie die Situierung der geplanten Anlagen im Wald in den durchgeführten Simulationen nicht berücksichtigt wurden. Die Berechnung der Fallweiten erfolgt unter Annahme einer ebenen, unbewaldeten Fläche.
- Es ist zu beachten, dass sich der geplante Standort in einem geschlossenen Waldgebiet befindet, wobei Bäume in einigen Fällen eine abschirmende Wirkung für die naheliegenden Wege gegen abfallende Eisstücke haben können. Da jedoch nicht davon auszugehen ist, dass jedes Eisstück durch die Kollision mit einem Baum abgefangen wird und die Verteilung der Bäume sowie deren eventuell abschirmende Wirkung modellarisch nicht berücksichtigt werden kann, sind die Berechnungsergebnisse ebenfalls als leicht konservativ anzusehen.

Der vorliegende Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen und nach allgemeinen Regeln der Technik angefertigt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das durch den Auftraggeber bzw. Dritte zur Verfügung gestellte Material (Schriften, Aufzeichnungen, Daten, Diagramme, etc.) von der TÜV SÜD IS nicht auf Richtigkeit geprüft werden konnte, daher hierfür keine Fehlerfreiheit garantiert und keine Haftung übernommen werden kann.

Die ermittelten Ergebnisse sind nur im Kontext mit der gesamten Analyse und unter besonderer Berücksichtigung der Hinweise zu den Ergebnissen zu verstehen. Daher wird bei einer auszugsweisen Vervielfältigung keine Haftung oder Gewähr für die Ergebnisse übernommen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] IEC 60050-415: Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch, Berlin (D), 1999
- [2] IEC 61400-1: Wind Turbines – Part 1: Design Requirements, International Electrotechnical Commission, Geneva (CH), Aug. 2005
- [3] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Angebot AN-WG-1807-169-AT, Regensburg, 17.07.2018
- [4] evn naturkraft Erzeugungsgesellschaft m.b.H., Beauftragung Eisfall- und Risikoanalyseanalyse für den WP Wild, Enzersdorf, 25.07.2018
- [5] David Kaderabek, EVN AG, Eingangsdaten für die Eisfall- und Risikoanalyse (*Koordinaten der geplanten WEA, Informationen zu den Windstatistiken und Windscherung, Unterlagen zum Eiserkennungssystem*), per E-Mail vom 12.01.2018
- [6] David Kaderabek, EVN AG, Eingangsdaten für die Eisfall- und Risikoanalyse (*weitere Unterlagen zum Eiserkennungssystem*), per E-Mail vom 31.01.2018
- [7] Selman Yasar, Vestas Österreich GmbH, Informationen zur Trudeldrehzahl, per E-Mail vom 31.01.2018
- [8] David Kaderabek, EVN AG, Eingangsdaten für die Eisfall- und Risikoanalyse (*Auszug aus dem meteorologischen Gutachten der Firma Ingenieurbüro ENAIRGY Windenergie GmbH für den Standort Wild, Informationen zu den Windberechnungen und Prognoseunsicherheit*), per E-Mail vom 07.02.2018
- [9] Mag. Karl Zeinler, Ruralplan Ziviltechniker Gesellschaft m.b.H., Shape-Dateien zu den Kranstellflächen und Zuwegungen im WP Wild, per E-Mail vom 08.02.2018
- [10] C. Morgan and E. Bossanyi, Wind turbine icing and public safety - a quantifiable risk?, Proceedings of Boreas III conference, Sariselka, Finland 1996
- [11] E. Bossanyi and C. Morgan, Wind turbine icing – its implications for public safety, Proceedings of European Union Wind Energy Conference 1996
- [12] C. Morgan, E. Bossanyi and H Seifert, Assessment of safety risks arising from wind turbine icing, Proceedings of EWEC '97 conference, Dublin 1997
- [13] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Richtlinie für Windenergieanlagen, Berlin (D), 2004
- [14] OVG-Rheinland-Pfalz, Urteil 1 A 11330/07.OVG vom 29.10.2008
- [15] René Cattin, Alpine Test Site Guetsch – Handbuch und Fachtagung (Schlussbericht), Bern, 31.12.2008
- [16] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Windenergienutzung – Technik, Planung und Genehmigung, Stuttgart, 4. Auflage, August 2003
- [17] S. Biswas, P. Taylor and J. Salmon, A model of ice throw trajectories from wind turbines, Research Article – Wind Energy 2012; 15:889-901, 2011
- [18] Richtlinie für Windenergieanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, DIBT, 2004
- [19] Excel-Programm Flugbahn 1P0 zur numerischen Berechnung der Flugbahn von Körpern aus ihrer Anfangsbewegung unter Berücksichtigung der Schwerkraft und des Luftwiderstands – Arbeitsbericht, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dr. Christoph Reichel, 2007
- [20] Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 18. Auflage

- [21] BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Digitale topographische Karte im Maßstab 1:50'000, Wien, 2005
- [22] EVN Naturkraft, Informationen zu den Erschließungswegen und Wanderwegen am Standort Wild, per E-Mail vom 27.05.2015
- [23] NÖ Elektrizitätswesengesetz 2005, Jahrgang 2012, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 26.07.2012
- [24] Internetportal des Bureau of Transportation Statistics (BTS), <http://www.bts.gov/btsprod/nts/>
- [25] DIN EN 50126 - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit (RAMS), März 2000
- [26] Health and Safety Executive (HSE), *ALARP-Prinzip* <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarplance.htm>
- [27] Health and Safety Executive (HSE), *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*, 1992 (Revised Edition), London: HMSO
- [28] „*Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung*“, Bericht der Störfallkommission beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, SFK-GS-41, 21.04.2004
- [29] *Das Windenergiepotenzial Vorarlbergs – Endbericht*, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien 11/2003
- [30] *Methods for determining the Potential Damage*, CPR16E, CIP-data of royal library
- [31] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
- [32] Floyd D. J., Ball P. J., *Societal Risks*, Hongkong 1993
- [33] *Katalog der Risiken – Risiken und ihre Darstellung*, Proske, Dresden, 2004
- [34] *Risk Acceptance Criteria*, Hoffmann A., Klein G., Weidl T., TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 12th International Probabilistic Workshop, Weimar 2014
- [35] *The Spatial Distribution of Icing in Germany. Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icing*, Bodo Wichura, Deutscher Wetterdienst, September 2013
- [36] Selman Yasar, Vestas Österreich GmbH, Bestätigung der Einbindung des Eologix Eiserkennungssignals in die Anlagensteuerung, per E-Mail vom 06.03.2018
- [37] David Kaderabek, EVN AG, Eingangsdaten für die Eisfall- und Risikoanalyse (*Update der Unterlagen zum Eiserkennungssystem*), per E-Mail vom 31.07.2018
- [38] David Kaderabek, EVN AG, Eingangsdaten für die Eisfall- und Risikoanalyse (*Update der Wander- und Ragwege*), per E-Mail vom 13.07.2018

## 7 Anhang

### 7.1 Eiswurf und Eisfall bei Windenergieanlagen

Das Thema Eiswurf / Eisfall bei WEA wurde detailliert im WECO-Projekt der EU untersucht (Wind Energy Production in Cold Climate). Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen [15].

Eiswurf bzw. Eisfall tritt bei Windenergieanlagen in erster Linie in Abhängigkeit von der umgebenden Temperatur sowie der umgebenden Luftfeuchtigkeit auf. Man unterscheidet zwischen den zwei Begrifflichkeiten Eiswurf bzw. Eisfall. Bei Eiswurf wird die Wurfweite einer sich in Betrieb befindlichen rotierenden Anlage untersucht, bei Eisfall die Fallweite einer stillstehenden WEA. Im Rahmen dieses Berichtes wird auch bei einer sich im Trudelbetrieb befindlichen WEA der Begriff Eisfall verwendet.

In Summe existieren sechs bekannte Möglichkeiten zur Erkennung von Eisansatz an einer Windkraftanlage:

- Eisdetektoren auf der Gondeloberseite: Speziell angebrachte Sensoren beobachten die Umgebungsbedingungen an der Gondel. Registriert der Sensor die einprogrammierten, für Vereisungsbedingungen charakteristischen Parameter, führt dies zur Abschaltung der Anlage.
- Verwendung zweier Anemometer: Bei dieser Art der Eisbeobachtung werden auf der Gondeloberseite zwei Referenzanemometer installiert. Davon ist je eines beheizt bzw. unbeheizt. Bei einem Einfrieren des unbeheizten Anemometers wird davon ausgegangen, dass Vereisungsbedingungen vorliegen und die Anlage wird abgestellt.
- Leistungskurvenverfahren: Hierbei wird die vorgegebene Leistungskurve in der Anlagensteuerung detailliert verfolgt. Die Änderung der aerodynamischen Eigenschaften durch Eisansatz an den Rotorblättern ist mit einer Abweichung der Leistungskennlinie von der zu erwartenden Kennlinie bei entsprechenden Umgebungsbedingungen verbunden und führt zur Abschaltung der Anlage. Hierbei sollte berücksichtigt werden, dass im Idealfall zumindest ein verwendetes Gondelanemometer beheizt wird, um nicht ebenfalls durch Vereisungsbedingungen ausgelöste unzuverlässige Werte aufzuzeichnen.
- Vibrationsüberwachung: In Verbindung mit den notwendigen Umgebungsbedingungen kann eine auftretende Unwucht an der Rotornabe ebenfalls das Erkennen von wachsender Eisbildung an den Rotorblättern signalisieren.
- Eigenschwingungsanalyse: Bei Vereisung ändern sich die Eigenfrequenzen der Rotorblätter aufgrund der Massenzunahme. Dieses Prinzip wird in Verbindung mit den notwendigen Umgebungsbedingungen zur Erkennung von Eisansatz verwendet.
- Impedanzmessung: Bei Vereisung ändert sich die Leitfähigkeit auf den Rotorblättern. Eis und die dazugehörige Schichtdicke kann damit durch Messung der Impedanz auf der Oberfläche erkannt werden.

Als ein erstes Indiz für Vereisungsbedingungen am Standort kann auftretende Vereisung von Leiterseilen bei Hochspannungsleitungen oder Eisbruch in Wäldern angesehen werden.

Generell kann gesagt werden, dass sich erst ein nennenswerter Eisansatz in der Größenordnung von etwa 40% der Profiltiefe bilden muss, ehe sich einzelne Eisstücke vom Rotor lösen und durch die hohe Blattspitzengeschwindigkeit einer sich in Betrieb befindlichen Anlage weggeschleudert werden. Die Überwachung der Leistungskurve registriert einen Einbruch der erzeugten Energie jedoch bereits bei ca. 3% Eisansatz am Rotorblatt, da dadurch die Aerodynamik stark gestört wird.

Die notwendigen Funktionen der Fernüberwachung und das Eingreifen in die Anlagensteuerung sind mittlerweile Stand der Technik und können als zuverlässig eingestuft werden. Eine Kombination der oben genannten Punkte unterstützt die Sicherheit der Anlagenabschaltung, so dass Eiswurf einer im Betrieb befindlichen Anlage mit hoher Sicherheit verhindert werden kann.

Im Rahmen des Genehmigungsprozesses von Windkraftanlagen wird jedoch der Nachweis, dass der Eiswurf von einer sich im Betrieb befindlichen Anlage sicher ausgeschlossen werden kann, in Form einer gutachterlichen Stellungnahme eines unabhängigen Sachverständigen zur Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems gefordert.

Die entsprechenden Dokumente wurden vom Anlagenhersteller bzw. Hersteller des Eiserkennungssystems zur Verfügung gestellt [5][6], somit liegt dieser Nachweis für den hier geplanten Anlagentyp vor. Weitere Angaben hierzu werden in Abschnitt 2.2 dargestellt.

Bezugnehmend auf die genannten Dokumente wird in den nachfolgenden Berechnungen angenommen, dass die Betriebsführung der Anlage den Vereisungsfall zuverlässig erkennt und diese in der Folge sicher abgestellt wird bzw. in den Trudelbetrieb übergeht.

Es sollte im Vorhinein der Verwirklichung eines Windparks ein Prozedere entwickelt werden, wie eine WEA nach einer Vereisungssituation wieder in Betrieb genommen wird, da Eisfall bei einer geparkten WEA am häufigsten vorkommt (hier gibt es bei einsetzendem Tauwetter abfallende Eisstücke, die in Lee-Richtung abfallen). Eine stillstehende WEA ist dabei prinzipiell mit jedem anderen hohen Gebäude (Türme, Hochspannungsmasten, etc.) zu vergleichen. Bei diesen anderen Gebäudetypen ist aufgrund der Situierung innerhalb einer Stadt ebenso mit einer prinzipiellen Gefährdung von Passanten durch Eisfall zu rechnen. Aufgrund der Planungssituation von WEA in deutlicher Entfernung zu Siedlungsgebieten, jedoch aufgrund der Zuwegung in der Nähe von ausgebauten Straßen, ist eine mögliche Gefährdung öffentlicher Straßen und Feldwege gegeben. Zusätzlich ist zu beachten, dass vereisungsbedingt abgestellte Anlagen oftmals nicht still stehen, sondern sich im Trudelbetrieb befinden. Hierbei erhalten die Eisstücke durch die langsame, aber vorhandene Bewegung der Rotorblätter eine Anfangsgeschwindigkeit, die abhängig von der jeweiligen Umdrehungszahl zu höheren Fallweiten führen als bei einer stillstehenden WEA.

Bei einer WEA kommt es je nach Rotorstellung zu unterschiedlichen Fallweiten. Die hierfür notwendigen Eingangsdaten (Größe und Masse des Eisstücks, aerodynamische Eigenschaften, etc.) für die Berechnungen werden aus vorhandenen Forschungsergebnissen und Richtlinien [10][11][12][13] abgeschätzt. Bei stillstehenden bzw. trudelnden WEA ist vor allem der Lee-Bereich des Rotors von Eisfall betroffen, somit stellen die Verteilung der Windgeschwindigkeit und der -richtung wichtige Eingangsdaten für die Berechnungen dar.

## 7.2 Theoretische Berechnungsgrundlagen von Eiswurf bzw. Eisfall

In einer Untersuchung im Rahmen des WECO-Projektes im Schweizer Hochgebirge [15] wurden wichtige Erkenntnisse im Umgang von WEA mit Vereisung gesammelt. So wurden Vereisungszeiten vornehmlich nachts festgestellt. Dabei konnte hinsichtlich der Abschaltung der WEA eine sehr gute Trefferquote erzielt werden, so dass ein möglichst gefahrloser Betrieb von Anlagen möglich ist. Das an der beobachteten Anlage für Eiserkennung angewandte Leistungskurvenverfahren zeigte gute Ergebnisse. Während an dem eingesetzten Sonic Anemometer Vereisung erst nach derjenigen der Flügel einsetzte, zeigte die Leistungskennlinie bereits ab Beginn des Vereisungsprozesses eine Abweichung von der erwarteten Kennlinie.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde ein Eiswurfmodell entwickelt, welches basierend auf den meteorologischen Bedingungen am Standort sowie der Charakteristik der Windenergieanlage die Bahnkurve eines Eisstücks bis zum Aufprall auf der Erde berechnet [17]. Mit Hilfe einer standortspezifischen Windstatistik kann somit die Eiswurf- bzw. Eisfalltrefferhäufigkeit um die Anlage unter Berücksichtigung der Windverhältnisse bestimmt werden.

Bei der Berechnung von Eiswurf bzw. Eisfall durch WEA sollten die folgenden Eingangsparameter berücksichtigt werden:

- Rotordurchmesser  $D$  und Nabenhöhe  $H$  in m
- Windgeschwindigkeit  $U$  in Nabenhöhe in m/s
- Größe und Form von Eisstücken (Stirnfläche  $A$  in  $m^2$ )
- Dichte der Eisstücke  $\rho_{\text{Eis}}$  in  $kg/m^3$  und Masse  $M$  in kg
- Widerstandsbeiwert der Eisstücke  $C_D$
- Startposition des herabfallenden Eisstücks auf dem Rotorblatt, beschrieben durch die radiale Position auf dem Rotorblatt ( $r$  in m), den Winkel der Rotorstellung in Bezug auf die Horizontale ( $\theta$  in rad) sowie den Azimuthwinkel der Rotorfläche ( $\varphi$  in rad)
- Windprofil am Standort der WEA zur Bestimmung der Anfangswindgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Rotorposition (Die abnehmende Windgeschwindigkeit mit sich reduzierendem Abstand zum Erdboden wird nicht berücksichtigt und führt zu konservativen Flugweiten)
- Dichte der Luft  $\rho$  in  $kg/m^3$ .

Mit diesen Eingangsdaten können für die Berechnung des Eiswurfes bzw. Eisfalls die folgenden Bewegungsgleichungen aufgestellt werden, wobei die Position des Eisstücks durch die Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  beschrieben wird:

$$M\ddot{x} = -\frac{1}{2} \rho C_D A (\dot{x} - U) W \quad [7.1]$$

$$M\ddot{y} = -\frac{1}{2} \rho C_D A \dot{y} W \quad [7.2]$$

$$M\ddot{z} = -Mg - \frac{1}{2} \rho C_D A \dot{z} W \quad [7.3]$$

mit:  $W = \sqrt{(\dot{x} - U)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$  (relative Windgeschwindigkeit)

Die Simulationen beinhalten dabei verschiedene Szenarien mit Eisstücken unterschiedlicher Masse und Eisdichte. Es wird davon ausgegangen, dass ein Eisstück zum Zeitpunkt des LöSENS vom Rotorblatt eine Anfangsgeschwindigkeit als Vektor besitzt, welche auf der Umdre-

hungsgeschwindigkeit und der Lage des Rotors basiert. Im Flug unterliegt es der Erdanziehung, dem Luftwiderstand, welcher das Teilchen abbremst, sowie der Kraft des Windes, welche es aus seiner Bahn ablenkt.

### 7.3 Annahmen für die Eisfallberechnungen

Für die im Rahmen der vorliegenden Analyse durchgeführten Berechnungen werden folgende Annahmen getroffen, sofern durch vorhandene meteorologische Daten keine Verbesserung der Eingabeparameter erfolgen kann:

- Die Eisfall- bzw. Eiswurfberechnungen werden mit einer ganzjährigen Windstatistik durchgeführt. D.h. es werden die über das ganze Jahr verteilten Windereignisse in eine mittlere Windstatistik zusammengefasst. Die Betrachtung der jahreszeitlich abhängigen bzw. bei Eisfallbedingungen tatsächlich vorherrschenden Windverhältnisse ist basierend auf der verfügbaren Datengrundlage nicht möglich.
- Die Ergebnisse der Simulationen zeigen demnach eine statistische Verteilung der Fallweiten von herunterfallenden Eisstücken, eine Aussage über die Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit von auftretendem Eisfall wird nicht getroffen.
- Die Funktionsfähigkeit der Abschalt- und Sicherheitsmechanismen der WEA sind gewährleistet, die Betriebsführung der Anlage erkennt den Vereisungsfall zuverlässig und die Abschaltung der Anlage bei Eisansatz erfolgt durch die Maßnahmen zur Eiserkennung wirkungsvoll, d.h. es tritt kein Eiswurf bei laufendem Betrieb auf.
- Da in der gültigen Norm [2] Vereisung als extremes externes Ereignis definiert ist, ist gemäß den darin festgehaltenen Vorschriften davon auszugehen, dass keine Fehler im Kontrollsystem auftreten.
- Die Simulation des Eisfalls erfolgt bei einer Anlage im Trudelbetrieb. Als Eingangsparmeter für die Umdrehungszahl im Trudelbetrieb wurde die vom Anlagenhersteller mitgeteilte maximale Umdrehungszahl von 2.14 U/min verwendet [7].
- In einer Simulation werden die Position des Eisstücks auf dem Rotorblatt (Blattwurzel bis Blattspitze) sowie die Rotorstellung zufällig gewählt. Die in der entsprechenden Höhe herrschende Windgeschwindigkeit wird aus dem für den Standort bestimmten Windprofil ermittelt. Um aus den ermittelten Auftreffhäufigkeiten am Boden statistische Aussagen abzuleiten und sowohl die Windrichtungs- als auch die Windgeschwindigkeitsverteilung zu berücksichtigen, werden für jedes Eisstückszenario mehrere Millionen Simulationen durchgeführt.
- Die abfallenden Eisstücke werden als quaderförmig angenommen.
- Die Eisstücke rotieren auf ihrem Weg vom Rotorblatt zum Erdboden hin, damit jede Seite abwechslungsweise vom Wind erfasst und auch vom Luftwiderstand abgebremst wird.
- Die Topographie sowie der den Standort umgebende Wald werden in den Simulationen nicht berücksichtigt. Die Simulationen werden auf einer horizontalen, unbewaldeten Fläche durchgeführt.

## 7.4 Berechnete Eisfallszenarien

Die Simulationen wurden für insgesamt vier Szenarien mit Eisstücken unterschiedlicher Größe und Dichte durchgeführt:

- A) Eisstück aus Raureif mit 90 g (Eisdichte: 600 kg/m<sup>3</sup>; Maße: 12 cm x 2.5 cm x 5 cm)
- B) Eisstück aus Raureif mit 240 g (Eisdichte: 600 kg/m<sup>3</sup>; Maße: 20 cm x 4 cm x 5 cm)
- C) Eisstück aus Klareis mit 70 g (Eisdichte: 900 kg/m<sup>3</sup>; Maße: 8.5 cm x 2.4 cm x 3.8 cm)
- D) Eisstück aus Klareis mit 180 g (Eisdichte: 900 kg/m<sup>3</sup>; Maße: 10 cm x 4 cm x 5 cm)

Diese Eisstücke wurden anhand einer für Risikoabschätzungen zugrunde liegenden Mortalitätskurve für Raureif bzw. Klareis definiert. Dabei stellen die Szenarien A bzw. C die Eisstückmassen dar, die bei einem Kopftreffer bereits leichte Verletzungen verursachen können. Die in den Szenarien B und D definierten Eisstücke können dagegen zu durchaus tödlichen Verletzungen führen.

Die Abmessungen der Eisstücke wurden aus der jeweiligen Masse und Dichte sowie anhand von Abschätzungen gemäß der Entstehungsmechanismen sowie der zu erwartenden Form abgeschätzt.

Die Wahl dieser Eisstücke stellt eine konservative Herangehensweise dar, da leichte Eisstücke aufgrund ihres geringeren Gewichtes weiter vom Wind verfrachtet werden können. Dabei entstehen größere Fallweiten als bei größeren und schwereren Eisstücken, die vom Wind weniger abgelenkt werden können. Zudem wurden in den Szenarien B und D die Eismassen ausgewählt, die bei einem Kopftreffer bereits tödliche Verletzungen verursachen können. Der Untersuchung von schwereren Eisstücken, die aufgrund ihres Gewichtes geringere Fallweiten, jedoch dasselbe Gefährdungspotential aufweisen, ist damit genüge getan.

Kleinere und leichtere Eisstücke als die im Rahmen dieser Analyse untersuchten Eisstücke können größere Fallweiten erreichen, jedoch sind aufgrund ihres geringen Gewichtes unwesentliche Beschädigungen bzw. Gefährdungen zu erwarten. Mit den in den Szenarien A und C untersuchten Eisstücken aus Raureif bzw. Klareis wurde zudem eine Untergrenze für Eismassen definiert, ab der leichte Verletzungen verursacht werden können.

Für jedes der vier Szenarien werden mehrere Millionen Simulationen durchgeführt, wobei die Startposition des Eisstücks auf dem Rotorblatt sowie die Ausrichtung des Rotorblattes zufällig generiert werden. Die jeweiligen zum Zeitpunkt des Herabfallens des Eisstücks vorherrschenden Windverhältnisse werden ebenfalls anhand der eingegebenen Windstatistik sowie des Windprofils zufällig erzeugt. Dabei fließt die mit einem Unsicherheitszuschlag versehene Windstatistik entsprechend der sektoriellen Häufigkeitsverteilung ein.

Es werden Windgeschwindigkeiten bis 30 m/s betrachtet. Es fließen zwar keine höheren Windgeschwindigkeiten in die Berechnungen ein, jedoch führen folgende Annahmen zu einer konservativen Betrachtungsweise. So führt die Annahme des mittleren Windprofils über die Rotorfläche bei hohen Windgeschwindigkeiten [2] zu einer Überschätzung der Windgeschwindigkeit in Höhen über der Nabenhöhe. Desweiteren wird in den Berechnungen vernachlässigt, dass die Windgeschwindigkeit während des Falls des Eisstücks zum Boden hin gemäß dem Windprofil abnimmt. Somit erfährt das Eisstück stets die gleiche, in Höhe der Rotorfläche aus dem Windprofil ermittelte Windgeschwindigkeit, was in den unteren Höhen eine künstliche Erhöhung der Fallweiten zur Folge hat. Entsprechend ist das Verfahren als konservativ zu bewerten. Eine deutliche Überbewertung der Flugweiten wird mit der Windgeschwindigkeitsbegrenzung vermieden, ohne den Unsicherheitszuschlag abzuändern.

## 7.5 Risiko und Risikoakzeptanzkriterien

### 7.5.1 Der Risikobegriff

Risikoanalysen stellen ein geeignetes Instrumentarium dar, um die vorhandene Unsicherheit qualitativ oder quantitativ zu beschreiben und Entscheidungsvarianten eine kalkulierte Wirkung zuzurechnen. Hierfür wird in der Technik die bekannte „Formel“

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittshäufigkeit} * \text{Ausmaß der Auswirkungen eines Ereignisses}$$

herangezogen. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass bei geringerem Schadensausmaß üblicherweise eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit akzeptiert wird. Steigt das Schadensausmaß an, muss die Häufigkeit des Ereignisses sinken, um in den akzeptablen Bereich zu gelangen. Hohe Schäden, die dazu noch häufig auftreten, sind hingegen nicht annehmbar. Intuitiv ist klar, dass zwischen den akzeptablen und den unakzeptablen Risiken ein Übergangsbereich liegt, in dem ggf. Verbesserungen möglich oder sinnvoll sind.

Die Begriffe in der obigen Formel sind wie folgt zu verstehen:

Die *Eintrittshäufigkeit* bezeichnet die Anzahl der Ereignisse innerhalb eines Zeitraums. Sie ist eine statistische Größe, d. h. sie spiegelt die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses in einem bestimmten Zeitraum wieder. Das *Ausmaß der Auswirkungen* eines Ereignisses kann entsprechend des Verwendungszweckes einer Risikoanalyse unterschiedlich definiert werden. Sicherheitsorientierte Betrachtungen in der Technik bestimmen in erster Linie Ereignisse mit der möglichen Folge von Schäden für Leib und Leben. Umwelt- und/oder Sachschäden werden üblicherweise in Geldeinheiten ausgedrückt („monetarisiert“).

#### 7.5.1.1 Risikobewertung

Ergebnis einer Risikoanalyse ist zunächst eine Aussage über das absolute Risiko. Um aber risikobasiert Entscheidungen vorbereiten zu können, muss dieser Risikowert durch Vergleich mit „üblicherweise akzeptierten“ Risiken eingeordnet und bewertet werden. Diese Aufgabe ist offensichtlich schwierig und mit Unwägbarkeiten behaftet, da der Übergangsbereich zwischen akzeptablem und inakzeptablem Bereich nicht eindeutig fixiert ist.

Beispiel:

Das Bewegen eines Fahrzeugs stellt eine (erlaubte) Gefährdung dar. Bei Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzungen wird grundsätzlich unterstellt, dass die Schadenshäufigkeit und Schadensauswirkung allgemein akzeptiert werden können. Eine explizite Quantifizierung dieses „Grenzrisikos“ existiert im deutschen Recht nicht.

Generell können dabei zwei Kriterien betrachtet werden (siehe Abbildung 18):

1. Übersteigt das Schadensausmaß eine bestimmte Grenze, muss immer Abhilfe geschaffen werden. Ein derartiges Ereignis liegt unabhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit stets im nicht akzeptablen Abschnitt der Graphik.
2. Ebenso verhält es sich mit Ereignissen, die zu häufig eintreten. Auch hier gibt es eine Grenze, ab der unabhängig vom Schadensausmaß der nicht akzeptable Bereich beginnt, da allein schon aus betrieblichen Gründen das Risiko zu hoch wird.

Zur Bestimmung der Lage der in Abbildung 18 dargestellten Akzeptanzgrenzen gibt es mehrere international übliche Vorgehensweisen, die letztendlich alle vergleichbare Ergebnisse bzw. Akzeptanzwerte liefern.

Seite 58 von 76

Zeichen/Erstelldatum: IS-ESW-RGB/JH/WEI / 08.08.2018

Standort: Wild (AT)

Bericht Nr.: MS-1504-029-AT-ICE-RA-de

Revision: 2

Bei einer Technologie, die mit sehr großen Ängsten behaftet ist, kann der Übergangsbereich sehr ausgedehnt sein. Ein weiterer Aspekt bei der Beurteilung eines Risikos ist der Grad der Freiwilligkeit der Risikoexposition, da freiwillig eingegangene Risiken (z. B. Sport) eher akzeptiert werden als unfreiwillig eingegangene Risiken, wie sie etwa mit der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, von Gebäuden oder der Erzeugung bestimmter Leistungen verbunden sind.

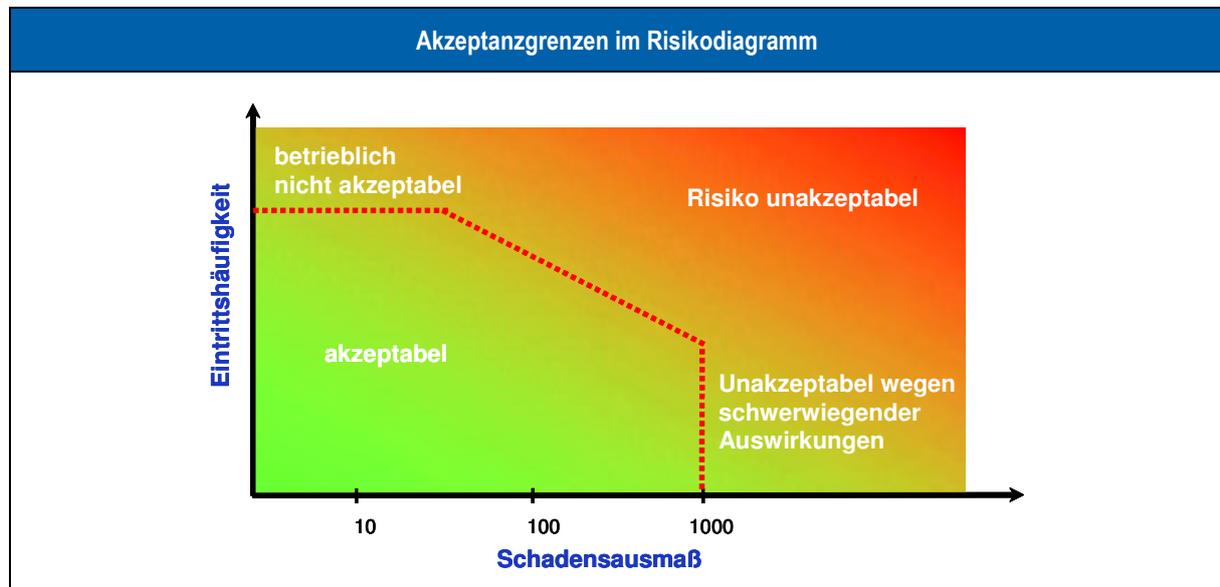


Abbildung 18: Akzeptanzgrenzen im Risikodiagramm.

Dies macht bereits deutlich, dass neben der „absoluten Risikobewertung“ einer Anlage auch die relative Risikobetrachtung von Bedeutung ist, d.h. die vergleichende Risikobetrachtung mit üblicherweise akzeptierten Risiken der Gesellschaft.

### 7.5.1.2 Risikodarstellung - Risikomatrix

Die Darstellung mittels eines Risikodiagramms ist nützlich, wenn Wahrscheinlichkeiten und Konsequenzen in präzisen Zahlen und eindeutigen Dimensionen angegeben oder berechnet werden können. In der Tat werden Risikoanalysen mit einer Vielfalt von quantitativen und qualitativen Methoden durchgeführt.

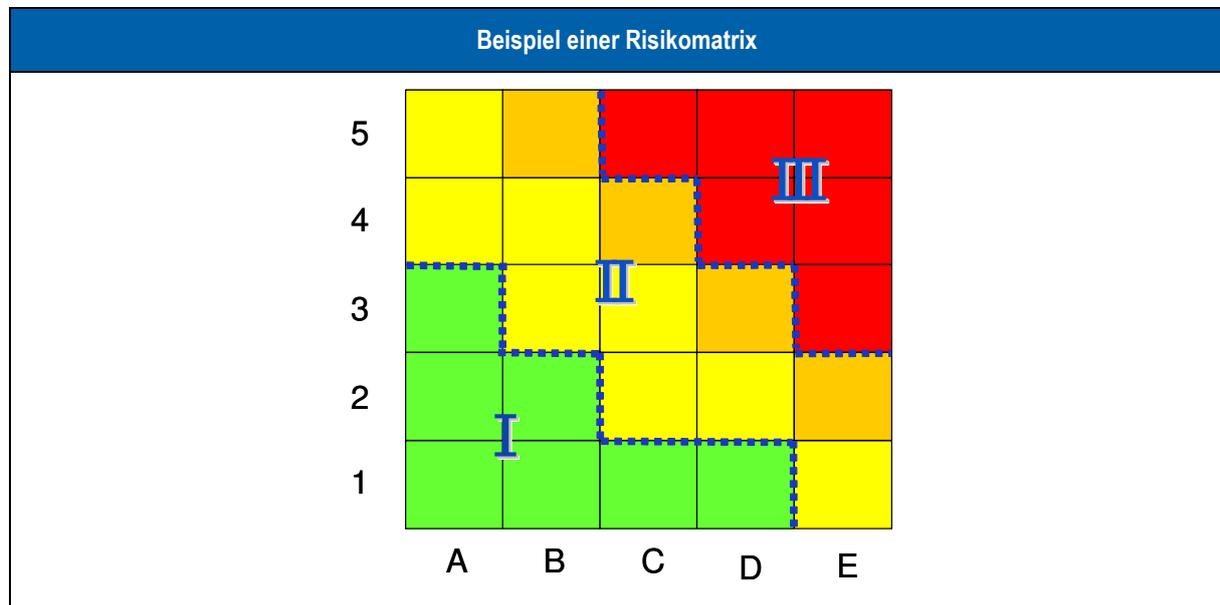
Sogenannte semi-quantitative Methoden haben den Vorteil, dass mit ihnen Ereignisdaten ebenso wie Expertenwissen berücksichtigt werden können. Sie erlauben es daher, subjektive Einschätzungen und objektive Erfahrungen miteinander zu verbinden. Dadurch ist es nicht mehr möglich, einzelne „Punkte“ im Risikodiagramm aufzuzeigen. Vielmehr sind nur noch Abschätzungen etwa der Größenordnung nach möglich.

Das Risikodiagramm wird damit zu einer Risiko-Matrix, wie sie die Abbildung 19 exemplarisch zeigt. Anstelle kontinuierlich verteilter Größen verwendet die Risiko-Matrix diskrete Kategorien für die Eintrittshäufigkeit (z. B. „1“ bis „5“) und das Ausmaß (z. B. „A“ bis „E“).

Diese Parameter werden qualitativ oder halbquantitativ geschätzt und umschrieben. So kann die „5“ etwa „beinahe sicher“ bedeuten, „1“ hingegen „extrem unwahrscheinlich“. Entsprechend steht z.B. „E“ für „katastrophale“, „A“ für „vernachlässigbare Ereignisse“. Der logarithmischen Auftragung der Achsenwerte im Risikodiagramm entsprechend unterscheiden sich die benachbarten Kategorien dabei je um eine Größenordnung.

Der **Bereich I** (grüner Bereich) ist die Region akzeptabler Risiken (s. o. Risikobewertung). Befindet sich ein System in diesem Sektor, sind weitere risikoreduzierende Maßnahmen aus

sicherheitstechnischer Sicht nicht notwendig. Im **Bereich II** (gelber und oranger Übergangsbereich) sind Verbesserungsmaßnahmen sinnvoll, im **Bereich III** (rot) sind sie unumgänglich.



**Abbildung 19: Beispiel einer Risikomatrix.**

Da die Skalierungen und Festlegungen vor der Bewertung einzelner Ereignisse und Maßnahmen erfolgen, wird eine objektive und ergebnisoffene Bewertung einerseits erleichtert, andererseits bleibt aber auch jede einzelne getroffene Bewertung sehr transparent. Erläuterungen zu den einzelnen Farbkodierungen sind in Tabelle 18 zu finden.

Wo die Grenzwerte für die einzelnen Bereiche des Risikos liegen, wird im folgenden Kapitel ausgehend von international üblichen Vorgehensweisen hergeleitet. Dabei wird der Übergangsbereich (gelber und oranger Bereich) zwischen akzeptablen und unakzeptablen Risiken zur besseren Abstufung risikoreduzierender Maßnahmen nochmals unterteilt.

## 7.5.2 Risikoakzeptanzkriterien

Zur Bestimmung des akzeptablen Risikos gibt es mehrere international übliche Vorgehensweisen, die letztendlich alle vergleichbare Ergebnisse liefern. Zunächst muss geklärt werden, welches Risiko als Vergleichsrisiko herangezogen wird. Grundsätzlich gibt es zwei Arten ein Risiko zu ermitteln. Je nachdem welches Ziel mit der Analyse verfolgt wird, wird entweder das *kollektive Risiko* oder das *individuelle Risiko* ermittelt.

Das kollektive Risiko ist das Gesamtrisiko für die Summe aller betroffenen Personen im betrachteten Szenario. Das Risiko für einen Einzelnen ist dabei jedoch unbekannt.

Das individuelle Risiko ist das Risiko, dem eine einzelne Person ausgesetzt ist. Durch diese Reduktion auf eine vergleichbare Basis kann dieses Risiko mit anderen technischen Bereichen verglichen werden.

### 7.5.2.1 Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM)

Die Frage, welches individuelle Risiko als akzeptabel gilt, hängt von mehreren Faktoren ab. Zunächst einmal muss geklärt werden, welche Risiken auf eine Person einwirken. Dazu wird in [25] das Prinzip der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) eingeführt. Bei diesem Prinzip wird davon ausgegangen, dass der Tod sich aus vielen verschiedenen Ursachen ergibt. Eine dieser Ursachengruppen wird „Technologische Tatsachen“ genannt, z. B.

- Unterhaltung und Sport (Surfen, Extremsport usw.);
- Heimwerker-Aktivitäten (Rasenmähen usw.);
- Arbeitsmaschinen;
- Verkehr.

Diese Gruppe hat einen bestimmten Prozentsatz von Toten pro Jahr zur Folge, der je nach Alter der betrachteten Bevölkerungsgruppe unterschiedlich ist. Das entsprechende Risiko wird als „Endogene Sterblichkeit R“ bezeichnet. In wirtschaftlich gut entwickelten Ländern ist R für die Gruppe der 5- bis 15-jährigen am niedrigsten. Die unterste Stufe der endogenen Sterblichkeit, bekannt als „Minimale endogene Sterblichkeit“ und mit „R<sub>m</sub>“ bezeichnet, wurde bestimmt als

$$R_m = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Todesfälle}}{\text{Jahr}} .$$

Daraus wird folgende Regel gebildet:

„Gefahren, die auf eine neue Industrieanlage zurückzuführen sind, dürfen *keine nennenswerte* Erhöhung der Zahl R<sub>m</sub> verursachen.“

Damit werden mit dem MEM-Prinzip folgende Grenzwerte festgelegt:

- R<sub>1</sub> ≤ 10<sup>-5</sup> Todesfälle/Person x Jahr
- R<sub>2</sub> ≤ 10<sup>-4</sup> Schwerverletzte/Person x Jahr
- R<sub>3</sub> ≤ 10<sup>-3</sup> Leichtverletzte/Person x Jahr

Die hiermit festgelegten Grenzwerte können als absolute Obergrenze betrachtet werden. Risiken, die darüber liegen, sind für Privatpersonen absolut unakzeptabel<sup>1</sup>. Ein weiterer Aspekt, der sich aus diesen Grenzwerten ergibt ist folgende empfohlene Umrechnungsvorschrift:

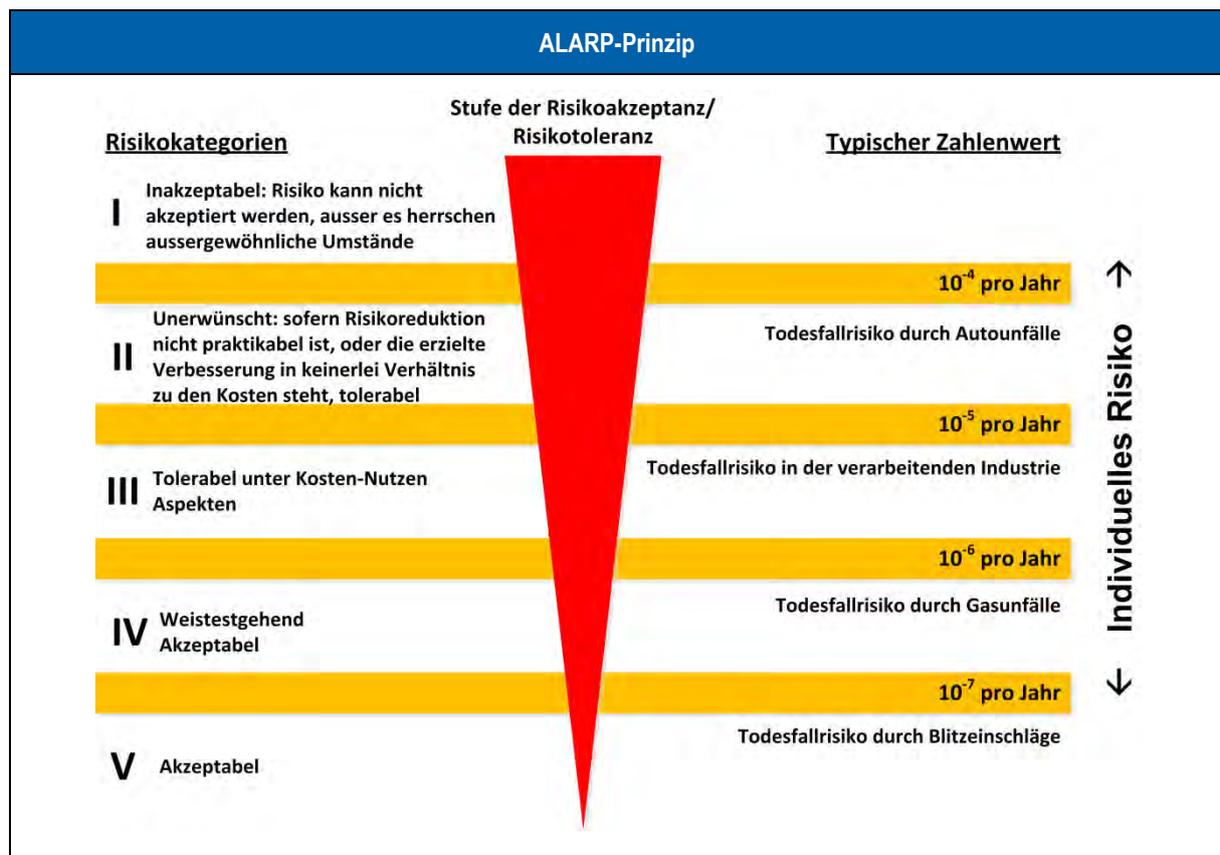
$$1 \text{ Toter} = 10 \text{ Schwerverletzte} = 100 \text{ Leichtverletzte}$$

### 7.5.2.2 Das ALARP-Prinzip

Eine etwas andere Herangehensweise mit anderen Grenzwerten wird von der britischen HSE empfohlen [26][27]. Hier werden verschiedene Grenzwerte für verschiedene Bevölkerungsgruppen ermittelt. So gelten z. B. für Arbeiter Grenzwerte von  $10^{-3}$  Todesfällen pro Jahr.

Insgesamt sieht die britische HSE bei einem jährlichen individuellen Todesfallrisiko von 1:1.000.000 ( $10^{-6}$ ) die Schwelle erreicht, bei der zusätzliche Kosten zur Risikovorsorge nicht mehr im Verhältnis zum Sicherheitszugewinn stehen. Mit anderen Worten: Ausprägungen des individuellen Risikos, die kleiner als dieser Wert sind, gelten grundsätzlich als akzeptabel – es besteht kein Handlungsbedarf für weitere risikoreduzierende Maßnahmen.

Die zwischen diesen Schwellen befindliche Zone wird als ALARP-Zone angesehen, bei der fallbezogen und unter Berücksichtigung einer Kosten-Nutzenabwägung ein vertretbares Risiko von der Aufsichtsbehörde festgelegt wird. Die nachfolgende Abbildung 20 zeigt das ALARP-Prinzip im Überblick.



<sup>1</sup> Für beruflich exponierte Personen wird im Allgemeinen ein um einen Faktor 10 höheres Risiko als Akzeptanzgrenze definiert.

**Abbildung 20: ALARP-Prinzip**

Das ALARP Prinzip wird im Allgemeinen für die Darstellung der einzelnen Kategorien aus Abbildung 19 verwendet, so spricht man bei dem gelb gekennzeichneten Bereich auch vom „unteren ALARP Bereich“ und beim orange gekennzeichneten Bereich vom „oberen ALARP Bereich“.

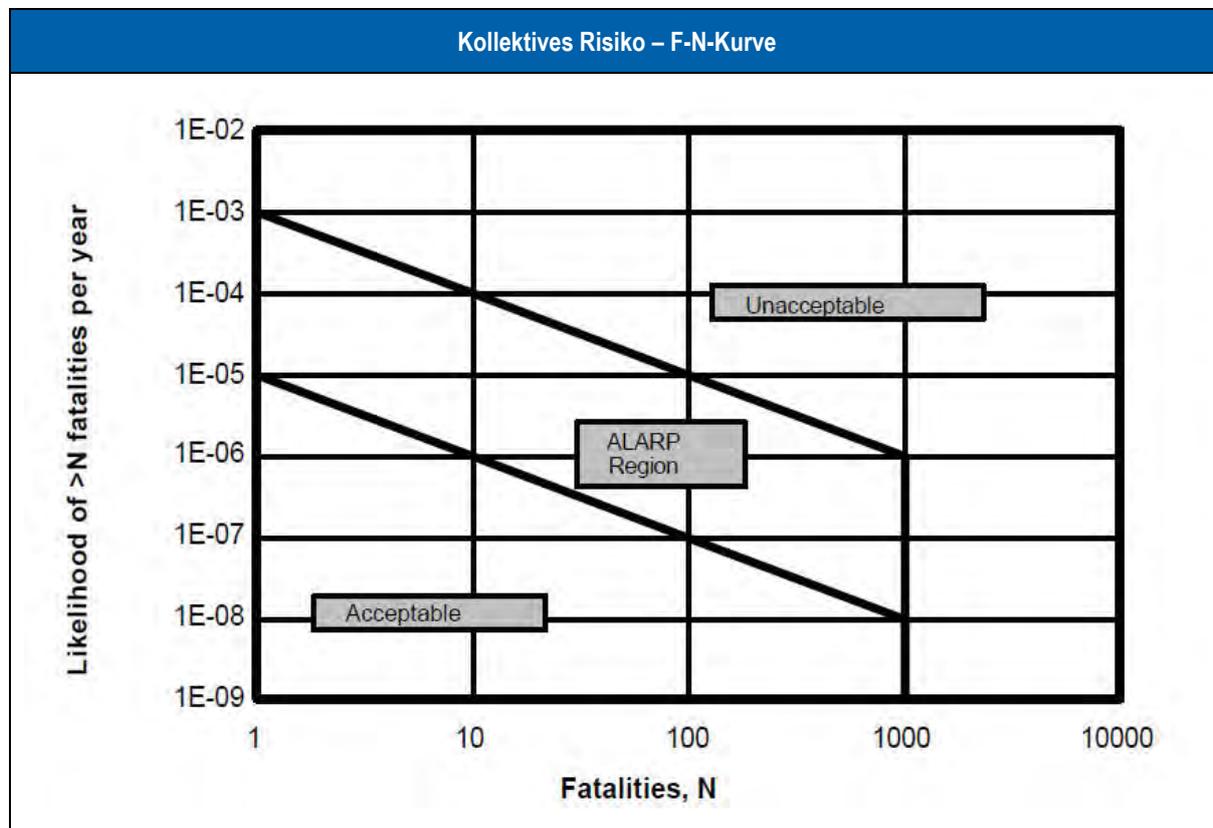
**7.5.2.3 Kollektives Risiko**

Alle o. g. Werte gelten für das individuelle Risiko. Wird stattdessen das kollektive Risiko betrachtet, gibt es weniger gesicherte Quellen, welches Referenzrisiko zur Bewertung herangezogen wird.

Die in folgender Abbildung 21 dargestellte Vorgehensweise aus [32] fasst die Erkenntnisse anschaulich zusammen. Je höher die Anzahl der Personenschäden (x-Achse) ist, umso unwahrscheinlicher muss ein Ereignis sein. Im Fall von Windenergieanlagen ist das Schadensausmaß N mit 1 anzusetzen. Der kollektive Ansatz wird durch die Anzahl der gefährdeten Personen in die Betrachtung mit einbezogen.

Nach dieser Darstellung ist die untere Akzeptanzgrenze mit  $10^{-5}$  Todesfällen pro Jahr und die obere Akzeptanzgrenze mit  $10^{-3}$  Todesfällen pro Jahr definiert. Dies liegt einen Faktor 100 über den üblichen Akzeptanzgrenzen für das individuelle Risiko.

D. h. wenn auf einer vorbeiführenden Straße die Verkehrsdichte mit 100 Bewegungen pro Tag angenommen wird, so ist das kollektive Risiko um einen Faktor 100 größer als das individuelle Risiko.



**Abbildung 21: Kollektives Risiko – F-N-Kurve.**

Die Risikobewertung ist jedoch identisch. Ist die Verkehrsdichte kleiner als 100 Bewegungen pro Tag, überwiegt das individuelle Risiko, ansonsten ist das kollektive Risiko zu betrachten.

#### 7.5.2.4 Im Rahmen der Untersuchung verwendete Akzeptanzkriterien

Aus dem ALARP-Prinzip lässt sich ein Akzeptanzbereich von  $10^{-4}$  –  $10^{-6}$  Todesfällen pro Person und Jahr im Bereich der Arbeitssicherheit ableiten, für unbeteiligte Dritte (Spaziergänger oder Autofahrer) wird im Allgemeinen ein strengerer Akzeptanzbereich von  $10^{-5}$  –  $10^{-7}$  Todesfällen pro Person und Jahr angesetzt. Als Grenzen für das kollektive Risiko, z. B. bei stark befahrenen Straßen, wird nach Kapitel 7.5.2.3 ein Akzeptanzbereich von  $10^{-3}$  –  $10^{-5}$  Todesfällen pro Person und Jahr angesetzt. Dieser Bereich definiert für gewöhnlich das, was durch den aktuell verfügbaren Stand der Technik erwartet werden kann und ist somit auch generell für die vorliegende Risikobetrachtung zu verwenden.

Es ist üblich verschiedene Kategorien, in denen das Risiko liegen kann, zu definieren. Dabei werden den Kategorien entsprechend der Einschätzung des Risikos verschiedene Farbkodierungen zugeordnet, in Anlehnung an die Farben des in Abbildung 18 dargestellten Risikodiagramms. In Tabelle 18 sind die in der vorliegenden Risikobetrachtung verwendeten Risikokategorien für Spaziergänger und Autofahrer dargestellt.

| Risikokategorien   |  |
|--|--|
| Risikowert (1/a) und Farbkodierung   | Risikobewertung  |
| Kleiner als $10^{-08}$ (individuell)<br>Kleiner als $10^{-07}$ (beruflich)<br>Kleiner als $10^{-06}$ (kollektiv)                                     | Das Risiko ist <b>vernachlässigbar</b> . Es liegt weit unterhalb aller anderen aus dem Alltag bekannten Risiken.   |
| Zwischen $10^{-08}$ und $10^{-07}$ (individuell)<br>Zwischen $10^{-07}$ und $10^{-06}$ (beruflich)<br>Zwischen $10^{-06}$ und $10^{-05}$ (kollektiv) | Das Risiko liegt im <b>akzeptablen</b> Bereich, es besteht aus risikoorientierter Sicht kein Handlungsbedarf.  |
| Zwischen $10^{-07}$ und $10^{-06}$ (individuell)<br>Zwischen $10^{-06}$ und $10^{-05}$ (beruflich)<br>Zwischen $10^{-05}$ und $10^{-04}$ (kollektiv) | Das Risiko ist <b>tolerierbar</b> und liegt im unteren ALARP-Bereich. Sofern weitergehende Maßnahmen zur Risikoreduzierung bekannt sind, können diese unter Kosten-Nutzen-Aspekten geprüft werden. Eine Empfehlung, solche Maßnahmen umzusetzen wird jedoch nicht ausgesprochen. |
| Zwischen $10^{-06}$ und $10^{-05}$ (individuell)<br>Zwischen $10^{-05}$ und $10^{-04}$ (beruflich)<br>Zwischen $10^{-04}$ und $10^{-03}$ (kollektiv) | Das Risiko ist <b>hoch</b> und liegt im oberen ALARP-Bereich. Die Umsetzung von bekannten risikoreduzierenden Maßnahmen wird dringend empfohlen bzw. es wird empfohlen, nach weitergehenden risikoreduzierenden Maßnahmen auch über den Stand der Technik hinaus zu suchen.      |
| Größer $10^{-05}$ (individuell)<br>Größer $10^{-04}$ (beruflich)<br>Größer $10^{-03}$ (kollektiv)  | Das Risiko ist <b>unakzeptabel hoch</b> . Maßnahmen zur Risikoreduktion müssen umgehend eingeleitet werden.  |

**Tabelle 18: In der Analyse verwendete Risikokategorien inklusive der Farbcodierung [34].**

Grundsätzlich kann für die Risikoanalyse folgende Faustregel getroffen werden: Bei Fuß- und Feldwegen kann von einer sehr geringen Verkehrsdichte ausgegangen werden (Ausnahme: Sehenswürdigkeiten bzw. Ausflugsziele in der Nähe). Hier wird in der Regel das individuelle Risiko als abdeckend betrachtet.

Für jegliche Straße, an der Kfz-Verkehr herrscht, muss von einer Verkehrsdichte größer als 100 Bewegungen pro Tag ausgegangen werden. Hier wird das kollektive Risiko als Vergleichsmaßstab herangezogen.

### 7.5.2.5 Vergleichsrisiken

Um die später ermittelten Risiken korrekt einordnen zu können, ist es hilfreich diese an bekannten Vergleichsrisiken zu spiegeln. Nachfolgende Tabelle 19 gibt die Größenordnung verschiedener Vergleichsrisiken wieder [33][34].

|                              | Ursache / Tätigkeit               | Todesfallrisiko / Jahr |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Berufsrisiken                | Arbeiter auf Baustellen           | 1.0E-04                |
|                              | Arbeiter in der Metallherstellung | 5.5E-05                |
|                              | Elektroingenieur                  | 8.0E-06                |
| verschiedene Verkehrsrisiken | Eisenbahn                         | 4.4E-06 ... 1.5E-05    |
|                              | PKW-Fahrer                        | 2.0E-04 ... 2.2E-04    |
|                              | Flugzeug (Passagiere)             | 0.67E-04 ... 1.2E-04   |
| Freizeitaktivitäten          | Bergsteigen                       | 1.0E-03 ... 2.7E-03    |
|                              | Fallschirmspringen (USA)          | 2.0E-03                |
|                              | Urlaub (UK 1990)                  | 1.0E-04                |
| Alltagsrisiken               | Hausarbeit                        | 1.0E-04                |
|                              | Gebäudebrand                      | 8.0E-06                |
|                              | Blitzschlag (UK, USA)             | 1.0E-07 ... 5.0E-07    |

**Tabelle 19: Vergleichsrisiken.**

Aufbauend auf Tabelle 19 und weitergehenden Analysen wird in [34] für die Arbeitssicherheit ein maximales Berufsrisiko von ca.  $10^{-4}$  Todesfällen pro Person und Jahr abgeleitet (Anmerkung: besonders risikoexponierte Tätigkeitsfelder wurden in Tabelle 19 nicht berücksichtigt). Für unbeteiligte Dritte wird im Allgemeinen eine um eine Zehnerpotenz niedrigere Akzeptanzgrenze angesetzt, was der oberen Grenze des in Kapitel 7.5.2.4 definierten Bereichs entspricht.

## 7.6 Für die Risikoanalyse verwendete Methodik

### 7.6.1 Schadensausmaß

Nach der in Abschnitt 7.5 gegebenen Definition wird das Risiko aus den Parametern Eintrittshäufigkeit und Schadensausmaß eines Ereignisses bestimmt. Dies unterscheidet Risikoanalysen von Gefährdungsanalysen, bei denen die Eintrittshäufigkeit eine untergeordnete Rolle spielt. Zur Bestimmung des Schadensausmaßes gibt es verschiedene Möglichkeiten, häufig wird lediglich abgeschätzt, ob eine leichte Verletzung, eine schwere Verletzung oder ein Todesfall zu erwarten ist.

#### 7.6.1.1 Die Probit-Funktion

Um das Schadensausmaß realitätsnäher zu bestimmen, kann mit der in [30] beschriebenen Methodik der Probit-Funktion die Mortalitätsrate (die Wahrscheinlichkeit bei einem Treffer am Kopf durch ein Projektil ums Leben zu kommen) ermittelt werden.

Die Probit-Funktion ist hier definiert durch

$$Pr = -17.56 + 5.3 \cdot \ln S$$

mit

$$S = \frac{1}{2}mv^2$$

[7.4]

und somit ausschließlich von der kinetischen Energie des Projektils abhängig. Diese Funktion wird verwendet, um die Todesfallwahrscheinlichkeit zu ermitteln, wenn eine Person von einem Objekt mit einer Masse  $m$  bei einer Geschwindigkeit  $v$  am Kopf getroffen wird. Gültig ist diese Funktion für Massen zwischen 0.1 und 4.5 kg<sup>2</sup>. Die Mortalität in Abhängigkeit vom Wert der Probit-Funktion lässt sich aus der von [30] entnommenen Tabelle 20 ableiten:

| Todesfallwahrscheinlichkeit vs. Probit-Funktion |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| %   | 0.00 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 |
| 0   | -    | 2.67 | 2.95 | 3.12 | 3.25 | 3.36 | 3.45 | 3.52 | 3.59 | 3.66 |
| 10  | 3.72 | 3.77 | 3.82 | 3.90 | 3.92 | 3.96 | 4.01 | 4.05 | 4.08 | 4.12 |
| 20  | 4.16 | 4.19 | 4.23 | 4.26 | 4.29 | 4.33 | 4.36 | 4.39 | 4.42 | 4.45 |
| 30  | 4.48 | 4.50 | 4.53 | 4.56 | 4.59 | 4.61 | 4.64 | 4.67 | 4.69 | 4.72 |
| 40  | 4.75 | 4.77 | 4.80 | 4.82 | 4.85 | 4.87 | 4.90 | 4.92 | 4.95 | 4.97 |
| 50  | 5.00 | 5.03 | 5.05 | 5.08 | 5.10 | 5.13 | 5.15 | 5.18 | 5.20 | 5.23 |
| 60  | 5.25 | 5.28 | 5.31 | 5.33 | 5.36 | 5.39 | 5.41 | 5.44 | 5.47 | 5.50 |
| 70  | 5.52 | 5.55 | 5.58 | 5.61 | 5.64 | 5.67 | 5.71 | 5.74 | 5.77 | 5.81 |
| 80  | 5.84 | 5.88 | 5.92 | 5.95 | 5.99 | 6.04 | 6.08 | 6.13 | 6.18 | 6.23 |
| 90  | 6.28 | 6.34 | 6.41 | 6.48 | 6.55 | 6.64 | 6.75 | 6.88 | 7.05 | 7.33 |
|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -   | 0.00 | 0.10 | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 |
| 99  | 7.33 | 7.37 | 7.41 | 7.46 | 7.51 | 7.58 | 7.65 | 7.75 | 7.88 | 8.09 |

<sup>2</sup> Streng genommen ist sie für die angenommenen Massen zwischen 70 g und 90 g (Szenarien C bzw. A) nicht mehr gültig, sie kann aber auch hier näherungsweise verwendet werden.

**Tabelle 20: Zusammenhang zwischen Todesfallwahrscheinlichkeit und Wert der Probit-Funktion.**

Folgende Beispiele erläutern, wie Tabelle 20 zu lesen ist:

- Beträgt der Wert der Probit-Funktion 2.67 (Zeile 2, Spalte 3), so ist die Todesfallwahrscheinlichkeit mit 1% anzusetzen.
- Beträgt der Wert der Probit-Funktion 5.36 (Zeile 8, Spalte 6), so ist die Todesfallwahrscheinlichkeit mit 64% anzusetzen.

Aus [20] kann für Objekte verschiedener Massen und Formen die Auftreffgeschwindigkeit  $v(m)$  in Abhängigkeit von der Masse des Projektils und unter Berücksichtigung des Luftwiderstandbeiwertes für die betrachtete Nabenhöhe von 166 m ermittelt werden.

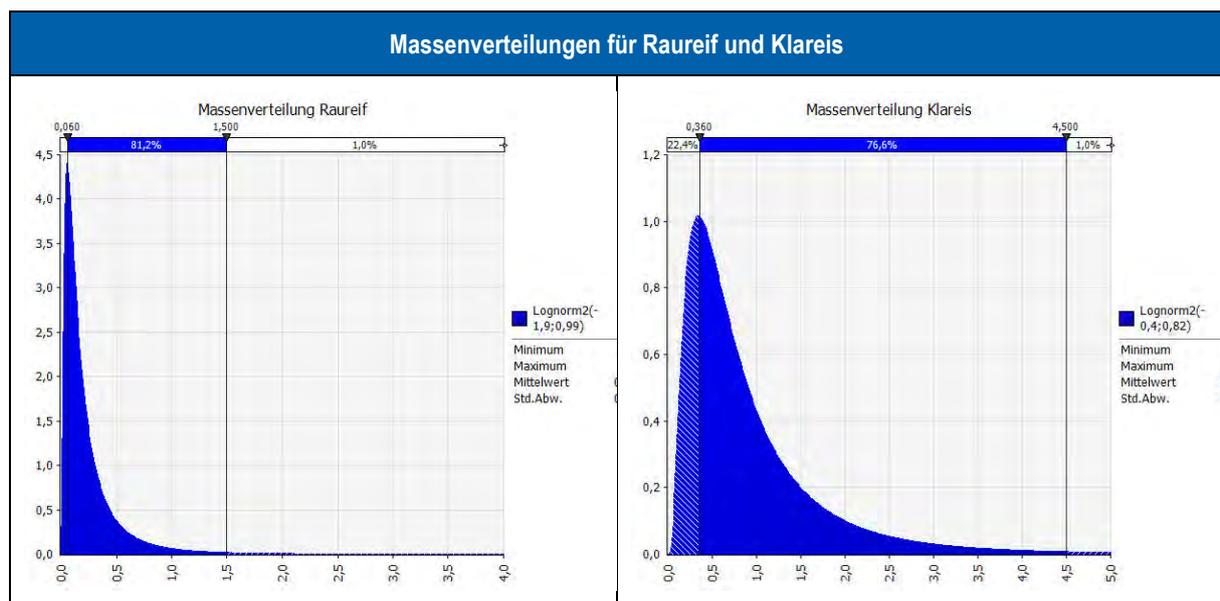
Die cw-Werte wurden anhand [18] (Seite B60) abgeschätzt. Demnach kann für Eisplatten ein cw-Wert von ca. 1 herangezogen werden.

Es ergeben sich unter Berücksichtigung der verschiedenen Dichten von Raureif (600 kg/m<sup>3</sup>) und Klareis (900 kg/m<sup>3</sup>) Auftreffgeschwindigkeiten von

- 30 m/s (Raureif) bzw.
- 35 m/s (Klareis).

### 7.6.1.2 Massenverteilung der Eisstücke

In der vorliegenden Risikobetrachtung werden, abgeleitet aus den Untersuchungen [15], 60 g bzw. 360 g als die am häufigsten vorkommende Masse angenommen, sowie 1.5 kg bzw. 4.5 kg als seltene Ereignisse betrachtet. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Massen Lognormalverteilungen folgen, die ihr Maximum bei 60 g bzw. 360 g haben und deren 99%-Perzentil bei 1.5 kg bzw. 4.5 kg liegt.



**Abbildung 22: Angenommene Massenverteilung für Raureif (links) bzw. Klareis (rechts).**

Die Kurven in Abbildung 22 ergeben sich mit diesen Annahmen für die Perzentile bzw. Maxima aus folgender Formel für die Wahrscheinlichkeitsdichte der Lognormalverteilung:

$$f(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot m} \cdot e^{-\left(\frac{(\ln m - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad [7.5]$$

mit

$m$ : Masse des Eisprojektils

$\sigma$ : 0.99

$\mu$ : -1.9

für Raureif bzw.

$\sigma$ : 0.82

$\mu$ : -0.4

für Klareis.

### 7.6.1.3 Ermittlung des mittleren Schadensausmaßes

Aus der Masse  $m$  und der Geschwindigkeit  $v(m)$  kann der Wert der Probit-Funktion  $Pr(m)$  bestimmt werden. Das Schadensausmaß  $C(m)$  kann anschließend aus Tabelle 20 ermittelt werden. In Abbildung 23 ist zu sehen, dass der Bereich, in dem das Schadensausmaß variiert, relativ schmal ist. So gibt es für Eisplatten aus Raureif bei einem angenommenen cw-Wert von 1 unterhalb einer Masse von 90 g keinen relevanten Schaden, oberhalb einer Masse von 240 g muss das Schadensausmaß mit 1 angesetzt werden (Todesfall durch Treffer).

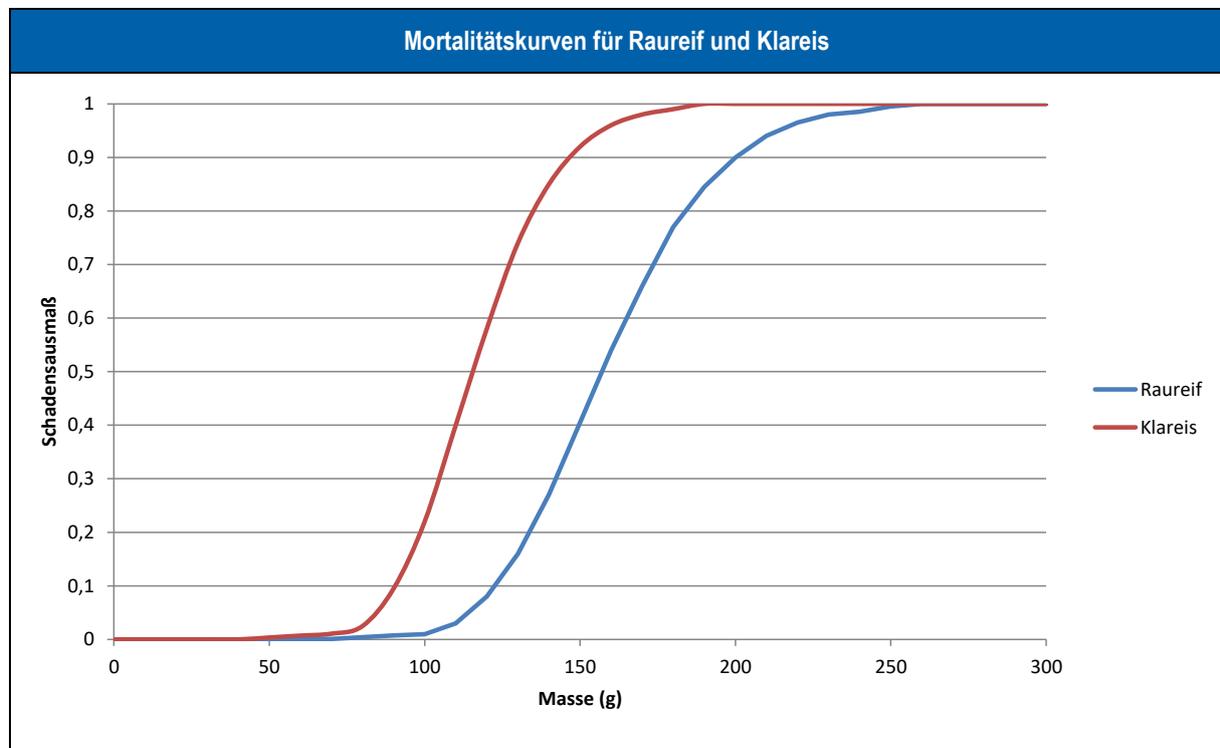


Abbildung 23: Mortalität bei Projektilen aus Raureif bzw. Klareis in Abhängigkeit von der Masse für eine Nabenhöhe von 166 m und einem cw-Wert von 1.

Um für die Berechnung ein mittleres Schadensausmaß  $C$  zu ermitteln, muss dieses noch mit der Wahrscheinlichkeit multipliziert werden, mit der diese Masse auftritt und über alle Massen aufsummiert werden:

$$C = \int_0^{\infty} C(m) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot m} \cdot e^{-\left(\frac{(\ln m - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)} dm. \quad [7.6]$$

Das Schadensausmaß wurde für die in Tabelle 20 dargestellten Fälle ermittelt und wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

| Nabenhöhe | Eistyp  | Schadensausmaß C |
|-----------|---------|------------------|
| 166 m     | Raureif | 0.48             |
| 166 m     | Klareis | 0.98             |

**Tabelle 21: Mittleres Schadensausmaß für eine Nabenhöhe von 166 m und einen cw-Wert von 1.**

Der Unterschied im Schadensausmaß für Raureif und Klareis ist durch die unterschiedlichen Massenverteilungen (siehe hierzu auch Abbildung 22) bedingt.

## 7.6.2 Eintrittshäufigkeit

Zur Ermittlung der Eintrittshäufigkeit wurden in Rahmen des Teilbereichs Eisfallanalyse an den geplanten Anlagenstandorten relative Häufigkeiten ermittelt, mit denen ein Eisstück in der näheren Umgebung der sich im Stillstand bzw. Trudelbetrieb befindlichen WEA auftritt. Hierbei wurden folgende Eisstücke betrachtet:

- Szenario A: Eisstück aus Raureif mit 90 g Gewicht
- Szenario B: Eisstück aus Raureif mit 240 g Gewicht
- Szenario C: Eisstück aus Klareis mit 70 g Gewicht
- Szenario D: Eisstück aus Klareis mit 180 g Gewicht

Für die durchgeführten Risikoanalysen wurden grundsätzlich alle Massen aus Kapitel 7.6.1.2 berücksichtigt. Die in den Eisfallsimulationen betrachteten Eisstücke repräsentieren dabei die Massen, bei denen von möglichen leichten Verletzungen (leichtere Eisstücke der Szenarien A und C) bzw. von tödlichen Verletzungen (schwerere Eisstücke der Szenarien B und D) ausgegangen werden muss.

Auf Basis der übergebenen Rohdaten aus den Eisfallsimulationen wurde ein quadratisches Raster in 5 m Schritten erstellt, mit dessen Hilfe die Trefferhäufigkeit auf Fahrzeuge bzw. Fußgänger, die sich auf den vorbeiführenden Straßen und Wege befinden, ermittelt werden kann.

### 7.6.2.1 Betrachtete Expositionsszenarien

Um die Risikobetrachtung weitestgehend zu standardisieren und vergleichbar zu machen, aber auch um ein realistisches und nicht zu konservatives Ergebnis zu erhalten, wurden die Wege in verschiedene Nutzungskategorien eingeteilt, aus denen sich dann Expositionsszenarien ergeben. Es werden folgende Unterscheidungen gemacht:

#### Fußgänger

| Kategorie                                | Bedeutung   |
|--|---|
| <b>Regelmäßig benutzter Weg</b>          | Es muss auf Grund der Ausbaustufe des Weges, seiner Erreichbarkeit und seiner Lage zu Ortschaften davon ausgegangen werden, dass dieser Weg regelmäßig, d. h. beinahe täglich von Spaziergängern oder Joggern genutzt wird. Dabei ist es ausreichend, wenn ein einziger Spaziergänger oder Jogger diesen Weg regelmäßig nutzt.  |
| <b>Häufig benutzter Weg</b>              | Für Wege dieser Art treffen nicht alle der o. g. Merkmale zu. So führen z. B. eine größere Entfernung zu Ortschaften und ein schlechter Zugang dazu, dass davon ausgegangen wird, dass dieser Weg nicht an allen Tagen aber doch häufig von Spaziergängern bzw. Joggern benutzt wird.   |
| <b>Gelegentlich benutzter Weg</b>        | In diese Kategorie fallen Wege, die noch eindeutig als solche, jedoch eindeutig nicht als Hauptwege erkennbar sind, und deren Ausbaustufe und Erreichbarkeit auf eine gelegentliche Benutzung schließen lassen.   |
| <b>Selten benutzter Weg</b>              | In diese Kategorie fallen Wege, die noch als solche erkennbar sind, und deren Zustand und Erreichbarkeit auf eine seltene Benutzung schließen lassen.   |
| <b>Normalerweise nicht benutzter Weg</b> | Wege, die aus der Vogelperspektive kaum noch zu erkennen sind, die eindeutig lediglich als Zufahrtswege für die Forst- bzw. Landwirtschaft erkennbar sind oder die sehr weit von der nächsten Wohnbebauung entfernt sind, werden als normalerweise nicht benutzt betrachtet. Die Exposition ermittelt sich aus einer Person, die sich zufällig an diesem Ort aufhält. |

Tabelle 22: Kategorien der betrachteten Wege.

#### Autofahrer

Entsprechend den Angaben zur Risikoakzeptanz aus Kapitel 7.5.2.4 muss für Autofahrer das kollektive Risiko betrachtet werden, sofern von einer Verkehrsdichte von mehr als 100 Fzg. / Tag ausgegangen wird. Dies wird grundsätzlich für alle Straßen angenommen. Für Autofahrer wird das ermittelte individuelle Risiko eines Fahrers bei einfacher Fahrt ermittelt und mit der Anzahl der Fahrzeuge multipliziert.

## Andere Personengruppen

Im Rahmen dieser Analyse werden beispielsweise Fahrradfahrer oder Langlaufskifahrer der Gruppe der Fußgänger zugeordnet. Dieser Absatz ist als konservativ zu bewerten. Als Grund hierfür ist insbesondere die geringere Expositionszeit durch die vergleichsweise höhere Bewegungsgeschwindigkeit anzuführen.

Auch beruflich exponierte Personen, wie z.B. Forstarbeiter, Jäger oder Landwirte sind in dieser Analyse mit abgedeckt, da für diese weniger strenge Risikoakzeptanzgrenzen gelten (siehe Kapitel 7.5.2.4). Außerdem sind diese Personengruppen beim Befahren der Wege durch die Fahrzeugstrukturen geschützt und haben beim Durchqueren eines Gefährdungsbereiches eine geringere Expositionszeit im Vergleich zu den Fußgängern.

## Zuwegungen und Stichwege und Kranstellflächen

Hinsichtlich Zuwegungen bzw. Stichwegen und Kranstellflächen an den Aufstellungsorten der WEA wird ein gewollter Aufenthalt eines Fußgängers im Gefahrenbereich unterstellt. Es wird ein 5-minütiger Aufenthalt in der unmittelbaren Nähe der WEA angenommen, woraus sich ein hohes Risiko ergibt. Dieses hohe Risiko muss generell durch geeignete Maßnahmen beherrscht werden, es wird empfohlen Kranstellflächen zu umzäunen oder als gleichwertige Alternative ein Schild mit einer an das Eisansatzerkennungssystem gekoppelten Warnleuchte/Lichtzeichen, das von Durchgang bei Eisfallbedingungen dringent abrät, aufzustellen.

### 7.6.2.2 Ermittlung der Trefferwahrscheinlichkeit $H_T$ , $P_T$

In einer Untersuchung im Rahmen des WECO-Projektes (Wind Energy Production in Cold Climate) wurde der Eisfall einer WEA auf der Gütisch im Schweizer Hochgebirge beobachtet. Hierbei wurden die von der Anlage abgefallenen bzw. abgeworfenen Eisstücke protokolliert [15].

In dem Untersuchungszeitraum von ca. 3 Jahren wurden etwa 200 Eisstücke identifiziert [15]. Da jedoch davon ausgegangen wird, dass nicht alle von der Versuchsanlage herabgefallenen Eisstücke tatsächlich gefunden wurden, z. B. weil sie in der Luft oder beim Aufprall zerbrochen sind, wird davon ausgegangen, dass ca. 200 Eisfälle pro Jahr vorgekommen sind. Für die vorliegende Analyse wird diese Anzahl noch quadratisch mit dem Rotorradius in Verhältnis gesetzt.

Werden die übermittelten relativen Eisfallhäufigkeiten auf diese Zahl normiert, so kann damit die absolute Trefferhäufigkeit  $H_T$  in ein  $5 \times 5 \text{ m}^2$  großes Rechteck pro Jahr ermittelt werden. Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fahrzeug bzw. ein Fußgänger getroffen wird, hängt von der relevanten Querschnittsfläche ab. Dafür werden folgende Werte angesetzt:

#### Autofahrer

Relevante Trefferfläche:  $2 \text{ m}^2$  (als relevant wird hier die Windschutzscheibe angenommen, damit ergibt sich eine Trefferwahrscheinlichkeit  $P_T$  von 0.08).

#### Fußgänger

Relevante Trefferfläche:  $0.04 \text{ m}^2$  (als relevant wird hier ein Treffer am Kopf angenommen, damit ergibt sich eine Trefferwahrscheinlichkeit  $P_T$  von 0.0016).

### 7.6.2.3 Ermittlung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit $P_A$

Unter der Expositionsdauer wird die Zeit verstanden, in der eine Person der Gefahr ausgesetzt ist. Diese wird im Folgenden für die einzelnen  $5 \times 5 \text{m}^2$ -Quadranten ermittelt.

Als Parameter muss der Aufenthalt im Gefährdungsbereich bestimmt werden. Dies ist die Zeit, die eine Person benötigt, um den durch Eisfall gefährdeten Bereich zu durchqueren. Dafür werden für die einzelnen  $5 \times 5 \text{m}^2$ -Quadranten folgende Zeiten angesetzt:

- 0.3 s (bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 60 km/h für Autofahrer)
- 3.6 s (bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 5 km/h für Fußgänger)

In Anlehnung an [35] kann die Anzahl der Tage pro Jahr mit Eisfallpotenzial abgeschätzt werden, unter der worst-case-Annahme, dass ein Vereisungstag einem Eisfalltag gleichzusetzen ist. In Abschnitt 2.3.3 ist eine standortspezifische Abschätzung von Vereisungstagen angegeben, die der Risikobewertung dieser vorliegenden Analyse zu Grunde liegt. Unter der Voraussetzung, dass sowohl Autofahrer als auch Fußgänger dieser Gefährdung zweimal pro Tag ausgesetzt sind, ergeben sich folgende Expositionzeiten:

- 12 s/a und Quadrant für Autofahrer, bzw.
- 144 s/a und Quadrant für Fußgänger.

Damit gilt eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit von

$$P_A = 3.80 \cdot 10^{-07} \text{ für Autofahrer bzw.}$$

$$P_A = 4.57 \cdot 10^{-06} \text{ für Fußgänger}$$

in den einzelnen Quadranten.

### 7.6.2.4 Berücksichtigung eines Reduktionsfaktors

Grundsätzlich gilt das nach Kapitel 7.6.1 ermittelte Schadensausmaß für Personen, die am Kopf getroffen werden. Dies ist nicht ohne Weiteres auf eine durch ein Fahrzeug geschützte Person übertragbar. Dennoch kann dieser Wert für Autofahrer zunächst übernommen werden.

In der Regel sollte die Karosserie sowie die Windschutzscheibe Eisstücke, die einen Spaziergänger töten würden, ohne größeren Schaden überstehen. Ähnliches erlebt man tagtäglich im Winter auf den Autobahnen, wenn sich Eisplatten z. B. von den Dächern von LKWs lösen und auf der Windschutzscheibe zerbersten. Somit ist von einer direkten tödlichen Auswirkung des Eisfalls nicht auszugehen.

Ein durchschnittlicher Autofahrer kann mit diesen Bedingungen umgehen und wird keinen Schaden davontragen. Dennoch wird davon ausgegangen, dass in 10% (Korrekturfaktor  $K=0.1$ ) aller Fälle eine Reaktion des Autofahrers erfolgt, die zu einem mit Kapitel 7.6.1 vergleichbarem Schadensausmaß führt.

### 7.6.2.5 Ermittlung der Gefährdungswahrscheinlichkeit

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person (ein Fahrzeug) von einem Eisstück getroffen wird und daraus eine Verletzung resultiert, kann somit zu

$$P = H_T \cdot P_T \cdot P_A \cdot K \quad (\text{Autofahrer}) \text{ bzw.} \quad [7.6]$$

$$P = H_T \cdot P_T \cdot P_A \quad (\text{Fußgänger}) \quad [7.7]$$

ermittelt werden.

### 7.6.3 Ermittlung des Risikos für die einzelnen Szenarien und Gesamtrisiko

Für die einzelnen betrachteten Szenarien wird das Risiko durch eine Multiplikation von Schadensausmaß  $C$  und Gefährdungswahrscheinlichkeit  $P$  berechnet.

$$R_{Szenarioi} = C_{Szenarioi} \cdot P_{Szenarioi} \quad [7.8]$$

Unter der Annahme, dass jedes Szenario etwa gleich wahrscheinlich ist, kann das Gesamtrisiko zu

$$R = 0.25 \cdot \sum_{i=1}^4 C_{Szenarioi} \cdot P_{Szenarioi} \quad [7.9]$$

ermittelt werden.

### 7.6.4 Berücksichtigung von Sicherheitsmaßnahmen

Die Risikoreduktion durch geeignete Maßnahmen ist für Straßen/Wege erforderlich, die ein hohes / unakzeptabel hohes Risiko gemäß Tabelle 18 aufweisen.

Um die Risiken durch Eisfall zu reduzieren bieten sich zwei prinzipielle Möglichkeiten an. Zum einen kann der Abstand der Straße/des Weges zur Windenergieanlage vergrößert werden, so dass die Trefferwahrscheinlichkeit mit einem Eisstück auf das erforderliche Maß verringert wird. Zum anderen kann die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Fahrzeuges auf der Straße / eines Fußgängers auf dem Weg reduziert werden.

In folgender Tabelle werden beispielhaft mögliche Sicherheitsmaßnahmen dargestellt und deren risikoreduzierendes Potential bewertet.

| Kategorie                                | Sicherheitsmaßnahme   | Wirksamkeit  |
|--|---|--|
| Aufenthaltswahrscheinlichkeit reduzieren | Warnschilder über Eisfallbedingungen  | Obligatorisch / geringer Effekt, maximal eine Größenordnung  |
|  | Regelmäßige (mindestens jährlich) Informationsveranstaltungen/ Flugblätter/ Durchsagen im Radio etc.  | Reduktion des Risikos um maximal eine Größenordnung (z. B. vom hohen Risiko zum tolerablen Risiko)                             |
|  | Sperrung der Straße/des Weges in Wintermonaten/zu Zeiten mit Eisfallbedingungen mittels Schranken/Warnlichtanlage mit dem Eiserkennungssystem gekoppelt | Reduktion des Risikos um zwei Größenordnungen (z. B. vom hohen Risiko zum akzeptablen Risiko)                                  |
| Abstand vergrößern                       | Verlegung der Straße/des Weges  | Abhängig vom gewählten neuen Abstand; prinzipiell ist eine Reduktion des Risikos bis in den vernachlässigbaren Bereich möglich |
|  | Spezielle Wegführung in den Wintermonaten   |  |
|  | Verlegung der WEA   |  |

Tabelle 23: Wirksamkeit bestimmter Sicherheitsmaßnahmen.

## 7.7 Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzungen |                         |  |
|-------------|-------------------------|--|
| Abkürzung   | Einheit                 | Bedeutung                                |
| A           | [m/s]                   | Skalenparameter der Weibullverteilung    |
| $c_p$       | [-]                     | Leistungsbeiwert                         |
| $c_t$       | [-]                     | Schubbeiwert                             |
| D           | [m]                     | Rotordurchmesser                         |
| E           | [MWh]                   | Energieertrag, Jahresenergieertrag       |
| $E_f$       | [kWh/m <sup>2</sup> /a] | Energiefluss, Mittlere Energiedichte     |
| frei        | [-]                     | freie Anströmungsbedingungen             |
| $h_i$       | [%]                     | Häufigkeit im Intervall i                |
| $h_{Park}$  | [%]                     | Wirkungsgrad, Parkwirkungsgrad           |
| HW          | [-]                     | Hochwert                                 |
| I           | [-]                     | Turbulenz, Turbulenzintensität           |
| IEC         | [-]                     | International Electrical Commission      |
| k           | [-]                     | Formparameter der Weibullverteilung      |
| LK          | [-]                     | Leistungskennlinie                       |
| Mode        | [-]                     | Modus, Einstellung                       |
| N           | [-]                     | Nord, nördlich                           |
| NH          | [m]                     | Nabenhöhe                                |
| NN          | [-]                     | Normal Null                              |
| O           | [-]                     | Ost, östlich                             |
| P           | [kW]                    | Leistung                                 |
| $P_f$       | [W/m <sup>2</sup> ]     | Mittlere Leistungsdichte, Leistungsfluss |
| $\rho$      | [kg/m <sup>3</sup> ]    | Luftdichte                               |
| RIX         | [%]                     | ruggedness index                         |
| RW          | [-]                     | Rechtswert                               |
| S           | [-]                     | Süd, südlich                             |
| Sek, sec    | [deg]                   | Windrichtungssektor                      |
| SN          | [-]                     | Seriennummer                             |
| U           | [-]                     | Unsicherheit                             |
| v           | [m/s]                   | Windgeschwindigkeit                      |
| W           | [-]                     | West, westlich                           |
| wake        | [-]                     | Nachlaufströmung                         |
| WEA, WKA    | [-]                     | Windenergieanlage                        |
| x           | [-]                     | Entfernung                               |
| z           | [m]                     | Höhe ü. Grund                            |
| $z_0$       | [m]                     | Rauigkeitslänge                          |

EOLOGIX EISERKENNUNGSSYSTEM (BASISSTATION BET214T,  
SENSOR CET214T)

# Zertifizierungsbericht Design Assessment

eologix sensor technology gmbh

**Report No.:** CR-DA-GL-IV-1-00526-3-DE

**Date:** 2018-05-31



Project name: eologix Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) DNV GL Energy Renewables Certification  
Report title: Zertifizierungsbericht Design Assessment Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH  
Customer: eologix sensor technology gmbh, Kratkystasse 2, 8020 Graz Brooktorkai 18 20457 Hamburg  
Contact person: Dr. Michael Moser; Dr. Thomas Schlegl Germany  
Date of issue: 2018-05-31 Tel: +49 40 36149-0  
Project No.: 49365 DE 228282604  
Report No.: CR-DA-GL-IV-1-00526-3-DE

Vertragliche Grundlage für den Bericht:

Proposal for component certification of ice sensing system for wind turbines (170503\_49365\_SFA\_Eologix\_CC\_update) and corresponding acknowledgement of order + 20180424 - SFA163921 eologix report translation EN-DE für die Übersetzung

Objective:

Designprüfung des Eiserkennungssystems entsprechend den Anforderungen der Richtlinie: Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH (GL) Rules and Guidelines - IV Industrial Services - Part 1 - Guideline for the Certification of Wind Turbines (GL-IV-1), Edition 2010.

Prepared by:



Digitally signed by  
manuel.gemuend@dnvgl.com  
Date: 2018.06.12 10:25:22  
+02'00'

Manuel Gemuend  
Senior Engineer

Verified by:



Digitally signed by Kopte, Daniel  
Date: 2018.06.12 08:05:58 +02'00'

Daniel Kopte  
Senior Engineer

Approved by:



Digitally signed by  
Schwarz, Matthias-Klaus  
Date: 2018.06.12 10:32:35  
+02'00'

Dr. Matthias-Klaus Schwarz  
Head of section

Copyright © DNV GL 2014. All rights reserved. This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise without the prior written consent of DNV GL. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS. The content of this publication shall be kept confidential by the customer, unless otherwise agreed in writing. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

DNV GL Distribution:

- Unrestricted distribution (internal and external)
- Unrestricted distribution within DNV GL
- Limited distribution within DNV GL after 3 years
- No distribution (confidential)
- Secret

Keywords:

| Rev. No. | Date       | Reason for Issue                      | Prepared by                | Verified by            | Approved by                |
|----------|------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| 0        | 2015-09-22 | First issue                           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz | Reinhard Schleeßelmann | Andreas Kamleitner         |
| 1        | 2015-10-15 | Minimum of required sensors clarified | Dr. Matthias-Klaus Schwarz | Reinhard Schleeßelmann | Andreas Kamleitner         |
| 2        | 2018-02-15 | Update                                | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz |
| 3        | 2018-03-26 | Editorial update                      | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz |
| 3-DE     | 2018-05-31 | Translation of EN revision 3 to DE    | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz |



## Table of contents

|   |                               |   |
|---|-------------------------------|---|
| 1 | EXECUTIVE SUMMARY .....       | 1 |
| 2 | CERTIFICATION SCHEME .....    | 1 |
| 3 | LIST OF REPORTS .....         | 1 |
| 4 | CONDITIONS .....              | 1 |
| 5 | OUTSTANDING ISSUES .....      | 2 |
| 6 | SUMMARY AND CONCLUSIONS ..... | 3 |

[Appendix A](#)    [Ice sensor system \(base station BET214t, sensor CET214t\) – Design](#)

## 1 EXECUTIVE SUMMARY

Dieser Bericht ist die Übersetzung des englischsprachigen Originals mit der Zertifikatsnummer CR-DA-GL-IV-1-00526-3.

Das Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) wie in den in Abschnitt 3 benannten Dokumenten beschrieben, erfüllt die Anforderungen der in Abschnitt 2 genannten Richtlinie. Darüber hinaus werden die relevanten Anforderung der DNVGL-SE-0439 (CMS) und der DNVGL-RP-0175 (Icing of wind turbines) erfüllt.

Das Eiserkennungssystem kann Eis an den Blättern erkennen, wenn mindestens 3 Sensoren erfolgreich Signale an die Basisstation senden. Die Basisstation sendet ein Signal an die Anlagensteuerung und Sicherheitskette, das ein Anlagenstop erforderlich ist.

Das Eiserkennungssystem ist grundsätzlich geeignet, unterschiedliche Eisschichtdicken zu detektieren.

Das System kann den Zeitpunkt feststellen zu dem kein Eis mehr an der Anlage haftet. Diese Funktion ist geeignet um einen automatischer Neustart der Anlagen zu initiieren.

Für den Fall, dass das Blatt mit eislösenden oder eisvermeidenden Systemen (thermisch; mechanisch) ausgestattet ist, muss die Sensorposition und eine mögliche Interaktion erneut beurteilt werden.

Das Eiserkennungssystem nutzt eine Anzahl von Sensoren und ist in der Lage defekte oder fehlende Sensoren zu erkennen.

## 2 CERTIFICATION SCHEME

| Document No. | Title   |
|--------------|---|
| GL-IV-1:2010 | Guidelines for the Certification of Wind Turbines |

## 3 LIST OF REPORTS

Die Anhänge dieses Berichts enthalten detaillierte DNVGL Berichte welche auf Standards und Dokumente referenzieren und eine Liste der Design-Dokumente sowie eine abschliessende Zusammenfassung der DNVGL Prüfung beinhalten.

| APPENDIX | Revision | Subject   |
|----------|----------|---|
| A        | 0        | Ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t) – Design |

## 4 CONDITIONS

Die nachfolgenden Bedingungen sind in folgenden Zertifizierungsverfahren zu beachten:

Die Plausibilität des Blitzschutzes setzt voraus, dass die Basisstation und die Antennen innerhalb der geschützten Gondel angebracht werden und die Gondel LPZ1 erfüllt. Die Basisstation entspricht daher LPZ2. Wenn diese Anforderung in einem Projekt nicht erfüllt wird, muss das Blitzschutzkonzept projektbezogen erneut überprüft werden.

Die Handbücher sind bei der Implementierung des Komponentenzertifikats in ein Typenzertifikat erneut zu überprüfen. Ein besonderer Fokus soll auf die Signalübergabe zwischen Eiserkennung und



Anlagensteuerung / Sicherheitskette gelegt werden. Die Projektbezogen angepassten Hndbücher sollen in den angepassten Bereichen erneut geprueft werden.

Wird die Basisstation in der Narbe angebracht, sind die durch die Rotation auftretenden zusätzlichen Lasten gesondert zu betrachten.

## **5 OUTSTANDING ISSUES**

Es wurden keine offenen Punkte bezeichnet.

## 6 SUMMARY AND CONCLUSIONS

Das Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) erfüllt die Anforderungen der Richtlinie GL-IV-1:2010, Guideline for the Certification of Wind Turbines geprüft.

Das Eiserkennungssystem kann Eis an den Blättern erkennen, wenn mindestens 3 Sensoren erfolgreich Signale an die Basisstation senden. Die Basisstation sendet ein Signal an die Anlagensteuerung und Sicherheitskette, das ein Anlagenstop erforderlich ist.

Das Eiserkennungssystem ist grundsätzlich geeignet, unterschiedliche Eisschichtdicken zu detektieren. Diese Funktion kann genutzt werden, um Winenergieanlagen bis zu einem definierten Grenzwert mit Eis zu betreiben, sofern Risiken durch Eisabwurf und Eisabfall anderweitig abgedeckt sind. Für diesen Betrieb sind mindestens ein Sensor an der Forderkante der Blattspitze sowie alle 15m an der Blattforderkante bis zur Blattwurzel auf mindestens einem der Rotorblätter erforderlich. Weitere Sensoren sollen auf der Saug- und Druckseite des selben Blattes angebracht sein. Zusätzlich sind alle verbleibenden Blätter mindestens an der Forderkante der Blattspitze mit einem Sensor auszurüsten.

Das System kann den Zeitpunkt feststellen zu dem kein Eis mehr an der Anlage haftet. Diese Funktion ist geeignet, um einen automatischen Neustart der Anlagen zu initiieren.

Das Eiserkennungssystem nutzt eine Anzahl von Sensoren und ist in der Lage, defekte oder fehlende Sensoren zu erkennen. Alle Sensoren werden in der Steuerung bei der Installation mit ihrer Position aufgelistet. Aufgrund dieser Liste kann die Eiserkennung auch bei Sensorausfall sicher weiter betrieben werden, solange die minimale Anzahl der Sensoren, wie in "Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602" definiert, funktionsfähig ist.

Die Sensoren sollen von Blattspitze zu Blattwurzel in alternierender Reihenfolge auf Saug- und Druckseite installiert werden. Sensoren auf gleichem Umfang sollen von Blatt zu Blatt ebenfalls alternierend auf Saug- und Druckseite installiert werden.

Für den Fall, dass das Blatt mit eislösenden oder eisvermeidenden Systemen (thermisch; mechanisch) ausgestattet ist, muss die Sensorposition und eine mögliche Interaktion erneut beurteilt werden.

Die Plausibilität des Blitzschutzes setzt voraus, dass die Basisstation und die Antennen innerhalb der geschützten Gondel angebracht werden und die Gondel LPZ1 erfüllt. Die Basisstation entspricht daher LPZ2. Wenn diese Anforderung in einem Projekt nicht erfüllt wird, muss das Blitzschutzkonzept projektbezogen erneut überprüft werden.

## APPENDIX A

# Ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t) – Design

## Assessment of Ice Detection System

Applied codes and standards:

| Document No.  | Revision | Title  |
|---------------|----------|--|
| GL-IV-1       | 2010     | Guideline for the Certification of Wind Turbines |
| DNVGL-SE-0439 | 2016-06  | Certification of condition monitoring            |
| DNVGL-RP-0175 | 2017-12  | Icing of wind turbines                           |

## Documentation from customer

List of reports

| Document No.               | Revision | Title   |
|----------------------------|----------|---|
| CS-CC-GL-IV-1-00526-0_A119 | Rev 3    | Control and protection system requirements for the Component “Ice sensor”   |
| CS-DA-GL-IV-1-00526-0_A086 | Rev 0    | CMS requirements  |
| 46008/MANGEM               | 0        | Letter of pre-certification review<br>Component Certification Services for an ice sensing system for wind turbines<br>Contract number 4800/14/46008/256 |

List of documents:

| Document No.                      | Revision  | Title  |
|-----------------------------------|-----------|--|
| Document No.                      | Revision  | Title  |
| Doc no.09                         | Rev. V1.3 | Ausfallswahrscheinlichkeitsbetrachtung_dbRelais, ,   |
| So-0007                           | Rev. 1.0  | Testszenarien, ,   |
| So-0003                           | Rev. 1.0  | Definition Steuerungsarchitektur   |
| 01100045170                       | Rev. 0    | LFG Leiterplatten Feinmechanik und Geräte ISO 9001 Zertifikat                                |
| So-0001                           | Rev. 1.0  | Softwaredokumentation - Anforderungen  |
| SO-7006.2                         | Rev. V1.1 | Sicherheitsbezogene_Spezifikation  |
| 06                                | Rev. 1.1  | eologix_FMEA, Doc no.FMEA/systemelement: Sensing unit  |
| 7006.7                            | Rev. V1.2 | Testszenarien  |
| So-0005                           | Rev. 1.0  | Funktionsblockbeschreibung   |
| SO_7006.2                         | Rev. V1.2 | Definition_Steuerungsarchitektur   |
| PB-7001                           | Rev. 1.0  | Prozessbeschreibung: sensor  |
| So-0004                           | Rev. 1.0  | Softwarebeschreibung   |
| So-0006                           | Rev. 1.0  | Kommentierung des Codes  |
| SO_7006.4                         | Rev. V1.2 | Softwarebeschreibung   |
| ILB-P-15.02.1-20150519            | Rev. 1.0  | Pruefbericht: Dauerfestigkeitsversuch Integrated Blade sensor CET214n/CET214t                |
| 20369-01                          | Rev. V4_0 | 02_Blitz_20369-01 V4_0 Eologix Test Report   |
| 201503018_EMC_EN301489_Immunity_2 | Rev. 1.2  | EMC Testreport EN301489-3 IMMUNITY Device under test Base Station BET214n Ice sensor CET214t |
| 8600                              | 1.1       | PROZESS - Software   |
| 8601                              | 1.1       | RICHTLINIE - Softwaredokumentation Anforderungen   |

| Document No.                                      | Revision       | Title  |
|---|----------------|--|
| 8602  | 2.0            | RICHTLINIE - Sicherheitsbezogene Spezifikation   |
| 8603  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Definition Steuerungsarchitektur  |
| 8604  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Softwarebeschreibung  |
| 8605  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Funktionsblockmodellierung  |
| 8606  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Kommentierungn Code   |
| 8607  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Testszenarien   |
| AD7143  | 0              | Programmable Controller for Capacitance Touch Sensors                                    |
| AD7143  | A              | Programmable Controller for Capacitance Touch Sensors                                    |
| Technical Data                                    | September 2016 | 3M™ Wind Protection Tape 2.0 Application Instructions<br>W8750                           |
| Technical Data                                    | Mai 2016       | 3M™ Wind Blade Protection Tape<br>W8607, Colorless                                       |
| 20170801_comp_3<br>M_tapes                        | V1_0           | Comparison of 3M Erosion Protection Tapes (W8750 vs 8607)                                |
| Video file  | -              | mixed_W8607_old_tape   |
| Video file  | -              | mixed_W8750_new_tape   |
| Video file  | -              | rime_W8607_old_tape  |
| Video file  | -              | rime_W8750_new_tape  |
| 20170810_verguss_<br>vergleichsbetrachtu<br>ng    | V1_0           | Vergleichsbetrachtung Elektronik-Verguss   |
| LP1429 10 D-0                                     | 0              | Vorläufiges technisches Merkblatt Dickschichtlack ELPEGUARD® Twin-<br>Cure® DSL 1707 FLZ |
| Technical Data<br>Sheet ACC15                     | 27/12/2014     | ACC15<br>Silicone Conformal Coating  |
| 20170815_basisstati<br>on_anschluesse             | V2_0           | Änderung Basisstation Anschlusskontakte  |
| 20170809_solarcell_<br>comparison                 | V1_0           | Comparison of solar cell conduction  |
| Eologix EB3-25                                    | C              | Eologix EB3-25 Solar panel solder dots   |
| 8602  | V2_0           | Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602   |
| 20170810_batteriee<br>n_vergleichsbetrach<br>tung | V1_0           | Vergleichsbetrachtung Energiespeicherzelle   |
| 20170810_batteriee<br>n_vergleichsbetrach<br>tung | V1_0           | CELL Type ML614 Specifications   |
| 20170926_software<br>_aenderungen                 | V1_0           | Software Änderungen  |
| eologixTurbinelnterf<br>aceSpec                   | R17.8          | eologix BET 214n Turbine Interface Specification   |
| 20170522_Montage<br>positionenSensoren            | V1_0           | Montagepositionen für Sensoren   |
| 20100151450223                                    | -              | Zertifikat für das Managementsystem nach EN ISO 9001:2015                                |
| BET214t   | 1.9            | Base Station for eologix Wireless Sensors Data Sheet                                     |
| CET214t   | 1.6            | Wireless Ice and Temperature Sensor for Rotor Blades Data Sheet                          |

## Description of verified system

Das Design des Eiserkennungssystems (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) wurde erfolgreich geprüft und dokumentiert in dem Bericht CR-DA-GL-IV-1-00526-0. Eine detaillierte Systembeschreibung findet sich in dem Bericht CR-DA-GL-IV-1-00526-0.

Das Eiserkennungssystem besteht aus seiner Steuerung (Basisstation) und mindestens 3 Sensoren. Die Messung erfolgt durch eine hochfrequenzabtastung unter Ausnutzung der unterschiedlichen Permittivität von Wasser und Eis. Jeder Sensor wird über eine Solarzelle und ein Batteriepaket autark mit Energie versorgt. Die Sensoren werden vergossen und mittels "3M Windshield Tape" auf das Rotorblatt aufgeklebt. Das Sensorsignal wird 1/Minute per Funk an die Basisstation gesendet.

Die Basisstation empfängt das Funksignal mittels 2 redundanter Antennen. Die Sensorsignale werden nur dann durch die Steuerung genutzt, wenn von beiden Antennen identische Werte empfangen wurden.

Die Steuerung überwacht die Sensorsignale (Eisfrei; Wasser/Schmutz, Eis) und die Verfügbarkeit der Sensoren. Sollten zu wenig Sensoren für einen bestimmten Anwendungsfall verfügbar sein, oder die Steuerung selber einen Fehler haben, wird das „System ok“ Signal deaktiviert. Das „System ok“ Signal und das „Eis / Eisfrei“ Signal werden über potentialfreie Kontakte an die Steuerung der Windenergieanlage übergeben. Die Signale können in eine Sicherheitskette eingebunden werden. Darüber hinaus ist es möglich, die Basisstation mittels BUS an die Windenergieanlagensteuerung oder ein SCADA System anzuschliessen.

## Conditions to be considered in other certification modules

Die nachfolgenden Bedingungen sind in folgenden Zertifizierungsverfahren zu beachten:

Die Plausibilität des Blitzschutzes setzt voraus, dass die Basisstation und die Antennen innerhalb der geschützten Gondel angebracht werden und die Gondel LPZ1 erfüllt. Die Basisstation entspricht daher LPZ2. Wenn diese Anforderung in einem Projekt nicht erfüllt wird, muss das Blitzschutzkonzept projektbezogen erneut überprüft werden.

Die Handbücher sind bei der Implementierung des Komponentenzertifikats in ein Typenzertifikat erneut zu überprüfen. Ein besonderer Fokus soll auf die Signalübergabe zwischen Eiserkennung und Anlagensteuerung / Sicherheitskette gelegt werden. Die projektbezogen angepassten Handbücher sollen in den angepassten Bereichen erneut geprüft werden.

Wird die Basisstation in der Narbe angebracht, sind die durch die Rotation auftretenden zusätzlichen Lasten gesondert zu betrachten.

## Outstanding issues

Es wurden keine offenen Punkte bezeichnet.

## Summary and Conclusions

Das Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) erfüllt die Anforderungen der Richtlinie GL-IV-1:2010, Guideline for the Certification of Wind Turbines geprüft.

Das Eiserkennungssystem kann Eis an den Blättern erkennen, wenn mindestens 3 Sensoren erfolgreich Signale an die Basisstation senden. Die Basisstation sendet ein Signal an die Anlagensteuerung und Sicherheitskette, das ein Anlagenstop erforderlich ist.

Das Eiserkennungssystem ist grundsätzlich geeignet, unterschiedliche Eisschichtdicken zu detektieren. Diese Funktion kann genutzt werden, um Winenergieanlagen bis zu einem definierten Grenzwert mit Eis zu betreiben sofern Risiken durch Eisabwurf und Eisabfall anderweitig abgedeckt sind. Für diesen Betrieb sind mindestens ein Sensor an der Forderkante der Blattspitze sowie alle 15m an der Blattforderkante bis zur Blattwurzel auf mindestens einem der Rotorblätter erforderlich. Weitere Sensoren sollen auf der Saug- und Druckseite des selben Blattes angebracht sein. Zusätzlich sind alle verbleibenden Blätter mindestens an der Forderkante der Blattspitze mit einem Sensor auszurüsten.

Das System kann den Zeitpunkt feststellen zu dem kein Eis mehr an der Anlage haftet. Diese Funktion ist geeignet, um einen automatischen Neustart der Anlagen zu initiieren.

Das Eiserkennungssystem nutzt eine Anzahl von Sensoren und ist in der Lage, defekte oder fehlende Sensoren zu erkennen. Alle Sensoren werden in der Steuerung bei der Installation mit ihrer Position aufgelistet. Aufgrund dieser Liste kann die Eiserkennung auch bei Sensorausfall sicher weiter betrieben werden, solange die minimale Anzahl der Sensoren, wie in "Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602" definiert, funktionsfähig ist.

Die Sensoren sollen von Blattspitze zu Blattwurzel in alternierender Reihenfolge auf Saug- und Druckseite installiert werden. Sensoren auf gleichem Umfang sollen von Blatt zu Blatt ebenfalls alternierend auf Saug- und Druckseite installiert werden.

Für den Fall, dass das Blatt mit eislösenden oder eisvermeidenden Systemen (thermisch; mechanisch) ausgestattet ist, muss die Sensorposition und eine mögliche Interaktion erneut beurteilt werden.

Die Plausibilität des Blitzschutzes setzt voraus, dass die Basisstation und die Antennen innerhalb der geschützten Gondel angebracht werden und die Gondel LPZ1 erfüllt. Die Basisstation entspricht daher LPZ2. Wenn diese Anforderung in einem Projekt nicht erfüllt wird, muss das Blitzschutzkonzept projektbezogen erneut überprüft werden.



## About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil & gas and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.

EOLOGIX EISERKENNUNGSSYSTEM (BASISSTATION BET214T,  
SENSOR CET214T)  
(BASISSTATION BET214T, SENSOR CET214T)

# Abschließender Zertifizierungsbericht

eologix sensor technology gmbh

**Report No.:** FCR-CC-GL-IV-1-00526-3-DE

**Date:** 2018-05-31



|                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| Project name:   | eologix Eiserkennungssystem (Basisstation<br>BET214t, Sensor CET214t)<br>(Basisstation BET214t, Sensor CET214t) | DNV GL Energy<br>Renewables Certification<br>Germanischer Lloyd Industrial<br>Services GmbH |
| Report title:   | Abschließender Zertifizierungsbericht   | Brooktorkai 18<br>20457 Hamburg<br>Germany  |
| Customer:       | eologix sensor technology gmbh, Kratkystrasse 2,<br>8020 Graz   | Tel: +49 40 36149-0<br>DE 228282604   |
| Contact person: | Dr. Michael Moser; Dr. Thomas Schlegl   |   |
| Date of issue:  | 2018-05-31  |   |
| Project No.:    | 49365   |   |
| Report No.:     | FCR-CC-GL-IV-1-00526-3-DE   |   |

Vertragliche Grundlage für den Bericht:

Proposal for component certification of ice sensing system for wind turbines  
(170503\_49365\_SFA\_Eologix\_CC\_update) and corresponding acknowledgement of order  
+ 20180424 - SFA163921 eologix report translation EN-DE für die Übersetzung

Objective:

Komponentenzertifizierung (CC) des Eiserkennungssystems entsprechend den Anforderungen der  
Richtlinie: Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH (GL) Rules and Guidelines - IV Industrial  
Services - Part 1 - Guideline for the Certification of Wind Turbines (GL-IV-1), Edition 2010

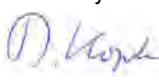
Prepared by:



Digitally signed by  
manuel.gemuend@dnvgl.com  
Date: 2018.06.12 10:23:40  
+02'00'

Manuel Gemuend  
Senior Engineer

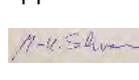
Verified by:



Digitally signed by Kopte, Daniel  
Date: 2018.06.12 08:08:57 +02'00'

Daniel Kopte  
Senior Engineer

Approved by:



Digitally signed by  
Schwarz, Matthias-  
Klaus  
Date: 2018.06.12  
10:34:39 +02'00'

Dr. Matthias-Klaus Schwarz  
Head of section

Copyright © DNV GL 2014. All rights reserved. This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise without the prior written consent of DNV GL. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS. The content of this publication shall be kept confidential by the customer, unless otherwise agreed in writing. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

DNV GL Distribution:

- Unrestricted distribution (internal and external)  
 Unrestricted distribution within DNV GL  
 Limited distribution within DNV GL after 3 years  
 No distribution (confidential)  
 Secret

Keywords:

| Rev. No. | Date       | Reason for Issue                              | Prepared by                | Verified by            | Approved by                   |
|----------|------------|---|----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 0        | 2015-09-23 | First issue                                   | Dr. Matthias-Klaus Schwarz | Reinhard Schleeßelmann | Andreas Kamleitner            |
| 1        | 2015-10-15 | Formal clarification for CC,<br>CR-DA, CR-IPE | Dr. Matthias-Klaus Schwarz | Reinhard Schleeßelmann | Andreas Kamleitner            |
| 2        | 2018-02-15 | update  | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus<br>Schwarz |
| 3        | 2018-04-04 | Editorial update                              | Manuel Gemuend             | Tobias Bublat          | Lars Klett                    |
| 3-DE     | 2018-05-31 | Translation of EN revision<br>3 to DE         | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus<br>Schwarz |



## Table of contents

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 1   | EXECUTIVE SUMMARY .....                | 1 |
| 2   | CERTIFICATION SCHEME .....             | 1 |
| 3   | CERTIFICATION REPORTS .....            | 1 |
| 4   | FINAL ASSESSMENT.....                  | 2 |
| 4.1 | Completeness of detailed documentation | 2 |
| 4.2 | Manuals                                | 2 |
| 5   | CONDITIONS .....                       | 2 |
| 6   | OUTSTANDING ISSUES .....               | 2 |
| 7   | SUMMARY AND CONCLUSIONS .....          | 2 |

## 1 EXECUTIVE SUMMARY

Dieser Bericht ist die Übersetzung des englischsprachigen Originals mit der Zertifikatsnummer FCR-CC-GL-IV-1-00526-3.

Das Design des Eiserkennungssystems (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) wurde erfolgreich entsprechend der Anforderungen der Richtlinie GL-IV-1:2010, Guideline for the Certification of Wind Turbines geprüft.

Die Fertigungsüberwachung (inclusive der Inspektion des Herstellungsprozesses und der Wareneingangskontrolle) des Eiserkennungssystems (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) entsprechend der Anforderungen der GL-IV-1:2010, Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen wurde am Standort erfolgreich durchgeführt.

Systemtests wurden erfolgreich begleitet.

## 2 CERTIFICATION SCHEME

| Document No. | Title   |
|--------------|---|
| GL-IV-1:2010 | Guidelines for the Certification of Wind Turbines |

## 3 CERTIFICATION REPORTS

| Document No.           | Title  |
|------------------------|--|
| CR-DA-GL-IV-1-00526-3  | Certification Report – Design Assessment<br>ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t) |
| CR-IPE-GL-IV-1-00526-3 | Certification Report – IPE<br>ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t)               |

## 4 FINAL ASSESSMENT

### 4.1 Completeness of detailed documentation

Die Dokumentation ist vollständig.

### 4.2 Manuals

Die Handbücher wurden erfolgreich geprüft.

## 5 CONDITIONS

Die Plausibilität des Blitzschutzes setzt voraus, dass die Basisstation und die Antennen innerhalb der geschützten Gondel angebracht werden und die Gondel LPZ1 erfüllt. Die Basisstation entspricht daher LPZ2. Wenn diese Anforderung in einem Projekt nicht erfüllt wird, muss das Blitzschutzkonzept projektbezogen erneut überprüft werden.

Die Handbücher sind bei der Implementierung des Komponentenzertifikats in ein Typenzertifikat erneut zu überprüfen. Ein besonderer Fokus soll auf die Signalübergabe zwischen Eiserkennung und Anlagensteuerung / Sicherheitskette gelegt werden. Die projektbezogenen angepassten Handbücher sollen in den angepassten Bereichen erneut geprüft werden.

Wird die Basisstation in der Narbe angebracht, sind die durch die Rotation auftretenden zusätzlichen Lasten gesondert zu betrachten.

## 6 OUTSTANDING ISSUES

Es wurden keine offenen Punkte bezeichnet.

## 7 SUMMARY AND CONCLUSIONS

Die in Abschnitt 3 aufgelistete Dokumente wurden geprüft. Die Dokumente sind konsistent und entsprechen den Anforderungen der in Abschnitt 2 genannten Richtlinie.

Das Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) wie in den in Abschnitt 3 benannten Dokumenten beschrieben, erfüllt die Anforderungen der in Abschnitt 2 genannten Richtlinie. Darüber hinaus werden die relevanten Anforderung der DNVGL-SE-0439 (CMS) und der DNVGL-RP-0175 (Icing of wind turbines) erfüllt.



## About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil & gas and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.

**RICHTLINIE**  
**Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602**

---

**Inhaltsverzeichnis**

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Einleitung.....  | 2 |
| 2 | „SYSTEM OK“-Signal Auslösung.....  | 2 |
| 3 | Definition Sensorpositionen.....   | 3 |
| 4 | Algorithmus Eisdetektion .....   | 4 |
| 5 | Sensorpositionen für Detektion Eisfreiheit (bzw. automatischer Wiederanlauf) ..... | 5 |
| 6 | Algorithmus für Detektion Eisfreiheit (bzw. automatischer Wiederanlauf) .....      | 8 |
| 7 | Algorithmus Betrieb mit Eis.....   | 9 |
| 8 | „Safety State“ .....   | 9 |
| 9 | Abkürzungen.....   | 9 |

**Revisionshistorie**

| Version | Datum      | Änderung / Inhalt                   | Ersteller      |
|---------|------------|-------------------------------------|----------------|
| 1.0     | 07.08.2016 | Dokumentenerstellung                | Thomas Schlegl |
| 2.0     | 03.10.2017 | Aktualisierung der Sensorpositionen | Thomas Schlegl |
|         |            |                                     |                |
|         |            |                                     |                |

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

---

### 1 Einleitung

Die Basisstation besitzt zwei potentialfreie Umschaltkontakte (d.h. 2 Relais) im Falle des ausschließlichen Betriebes „Eisdetektion“ (d.h. keine Eisfrei-Detektion), sowie drei potentialfreie Umschaltkontakte (d.h. 3 Relais) für den Betrieb „Eisdetektion“ und „Detektion Eisfreiheit“. Folgende Zustände können angezeigt bzw. ausgegeben werden:

- a) „System OK“ oder „System NOT OK“
- b) „EIS“ oder „KEIN EIS“
- c) im Falle der Funktion „Detektion Eisfreiheit“: „Restart OK“ oder „Restart NOT OK“

### 2 „SYSTEM OK“-Signal Auslösung

Ein Sensor wird nicht berücksichtigt, wenn:

- a) Innerhalb der letzten 10 min nicht empfangen wurde, oder
- b) Unplausible Daten liefert (siehe FMEA)
- c) Als nicht am Rotorblatt befindlich erkannt wurde

Wird keiner der genannten Punkte a) bis c) erfüllt, gilt der Sensor als zu berücksichtigen (auch „aktiv“ genannt).

Sollte ein Sensor mehr als 10-mal den Zustand zwischen „aktiv“ und „nicht aktiv“ innerhalb eines Tages wechseln (z.B. durch viele Empfangsstörungen von mehr als 10 min) ist dieser Sensor in einer Liste für „unzulässige“ Sensoren einzutragen und auf der jeweiligen Basisstation abzuspeichern.

Folgender Algorithmus soll verwendet werden um am Basisstations-Ausgang das Signal „System OK“ zu liefern:

Wenn mindestens ein Sensor an der Wurzel (< 10% der Blattlänge) sowie ein Sensor an der Spitze (> 90% der Blattlänge) als zu berücksichtigend (=aktiv) gilt.

Im Weiteren werden nur mehr die zu berücksichtigenden Sensoren betrachtet.

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

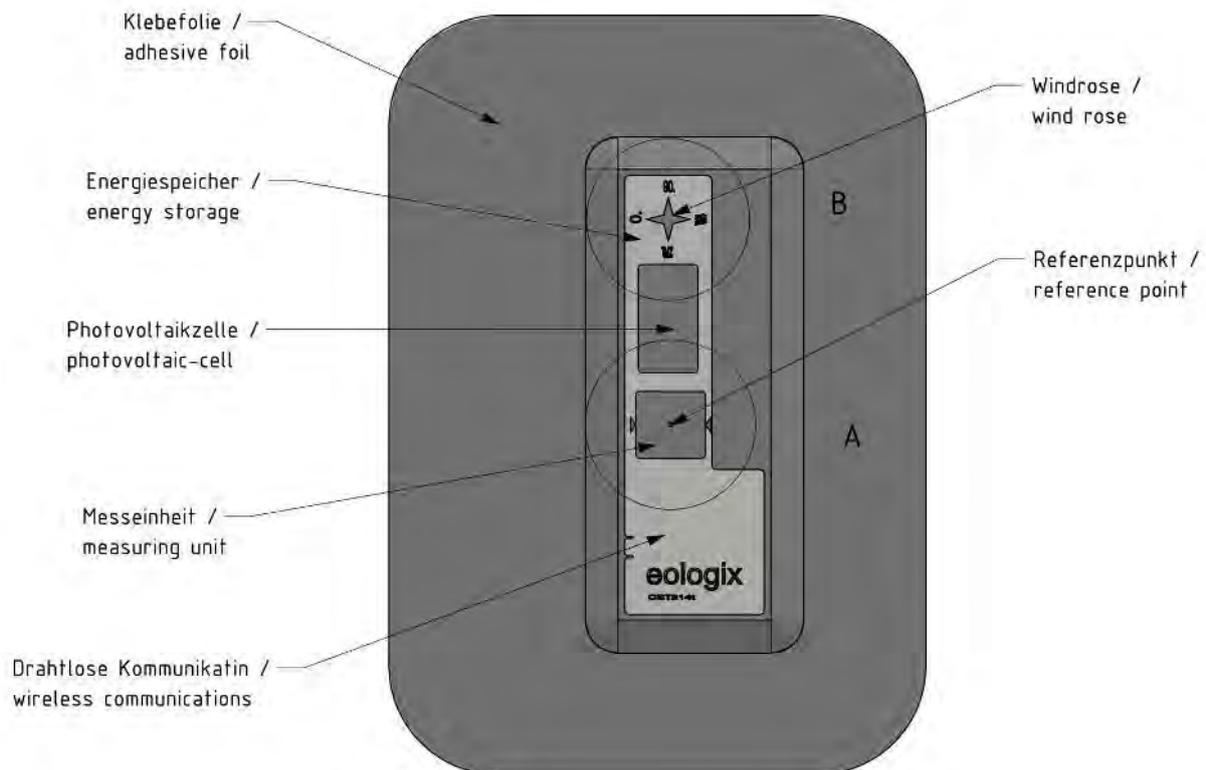
---

### 3 Definition Sensorpositionen

Zur eindeutigen Bestimmung der Lage des Sensors, ist am Sensor eine Windrose aufgezeichnet. Der zur Wurzel zeigende Teil der Windrose (0°, 90°, 180° oder 270°) bestimmt die Ausrichtung des Sensors am Blatt. Weiters wird die

- radiale Position (Entfernung zur Blattwurzel, aufgrund von Montageungenauigkeiten mit einer Montagetoleranz von +/- 1 m),
- Blattseite angegeben (Druckseite oder Saugseite) und
- die Entfernung des Sensors von der Hinterkante in Prozent (0% = Hinterkante, 100% = Vorderkante)

angegeben.



*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

---

### 4 Algorithmus Eisdetektion

Folgende Signallevel können von einem Sensor ausgegeben werden:

- Signal Level 1 = freier Sensoroberfläche
- Signal Level 2 = „Aktivität“, z.B. Feuchte, Wasser, Raureif, etc. (kein Eis > 1 mm)
- Signal Level 3 = Eis mit einer Dicke von mehr als ca. 1 mm
- Signal Level 4 = Eis mit einer Dicke von mehr als ca. 10 mm
- Signal Level 5 = Eis mit einer Dicke von mehr als ca. 15 mm

Sobald

- ein beliebiger Sensor „SIGNAL LEVEL 5“ oder
- oder zwei benachbarte Sensoren „SIGNAL LEVEL 4“ oder
- mindestens 2/3 (abgerundet) der Spitzensensoren „SIGNAL LEVEL 3“ liefern

wird vom Signal „KEIN EIS“ zum Signal „EIS“ gewechselt.

Beispiele:

- a) 1 Sensor (unabhängig von der Position) liefert „SIGNAL LEVEL 5“,
- b) 2 benachbarte Sensoren (unabhängig von der Position) liefert „SIGNAL LEVEL 4“,
- c) Bei 2 Sensoren an der Spitze: mind. 1 Sensor an der Spitze „SIGNAL LEVEL 3“,
- d) Bei 3-4 Sensoren an der Spitze: mind. 2 Sensoren an der Spitze „SIGNAL LEVEL 3“,
- e) Bei 5 Sensoren an der Spitze: mind. 3 Sensoren an der Spitze „SIGNAL LEVEL 3“,
- f) Bei 6-7 Sensoren an der Spitze: mind. 4 Sensoren an der Spitze „SIGNAL LEVEL 3“,
- g) Bei 8 Sensoren an der Spitze: mind. 5 Sensoren an der Spitze „SIGNAL LEVEL 3“, usw.

Bei nur noch einem Sensor an der Spitze wird vom Signal „KEIN EIS“ zum Signal „EIS“ gewechselt, falls ein Sensor (Sensor an der Spitze oder Sensor an der Blattwurzel) „SIGNAL LEVEL 3“ oder ein Sensor eine Temperatur von kleiner (<) +5°C misst. D.h. es muss immer ein Sensor an der Spitze und ein Sensor an der Blattwurzel empfangen werden.

Der Wechsel von Signal „EIS“ zu Signal „KEIN EIS“ erfolgt, wenn < 2/3 der Sensoren (Ergebnis wird immer abgerundet) „SIGNAL LEVEL 3“ und kein Sensor „SIGNAL LEVEL 4“ aufweisen.

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

geprüft:

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

---

### 5 Sensorpositionen für Detektion Eisfreiheit (bzw. automatischer Wiederanlauf)

Für die Detektion der Eisfreiheit und somit den automatischen Wiederanlauf müssen folgende Positionen an den Rotorblättern mit Sensoren bestückt werden:

- a) Auf jedem Blatt alle 15 m an der Vorderkanten, wobei bei
  - i.  $> 7,5$  cm des Radius der Vorderkante des Blattes der Sensor in Richtung  $180^\circ$  montiert wird (d.h. quer zur Vorderkante)
  - ii.  $\leq 7,5$  cm des Radius der Vorderkante des Blattes der Sensor in Richtung  $90^\circ$  auf der Druckseite und  $270^\circ$  auf der Saugseite (d.h. ca.  $>90\%$  Entfernung von der Hinterkante und entlang der Vorderkante). Hierbei darf der Sensor bis max. 4 cm von der Vorderkante entfernt sein.
- b) Insgesamt 4 Spitzensensoren verteilt auf die drei Rotorblätter ( $> 90\%$  der Blattlänge)
- c) Insgesamt 2 Wurzelsensoren verteilt auf zwei Rotorblätter ( $< 10\%$  der Blattlänge)
- d) Pro Blatt 1 Sensor an der Hinterkante (auf halber Blattlänge pro Rotorblatt)
- e) Pro Blatt 1 Sensor an der Druckseite in der Mitte zwischen Vorder- und Hinterkante (50% Abstand von Hinterkante) im Abstand von ca. 33% der Blattlänge gemessen von der Blattwurzel
- f) Pro Blatt 1 Sensor an der Saugseite in der Mitte zwischen Vorder- und Hinterkante (50% Abstand von Hinterkante) im Abstand von ca. 66% der Blattlänge gemessen von der Blattwurzel

Jede Sensor-Position muss pro Windturbine zumindest einmal auf der Druck- und einmal auf der Saugseite besetzt sein. Dies betrifft nur die oben genannten Positionen der Mindestanforderung. Zusätzlich angebrachte Sensoren sind von dieser Bestimmung nicht betroffen.

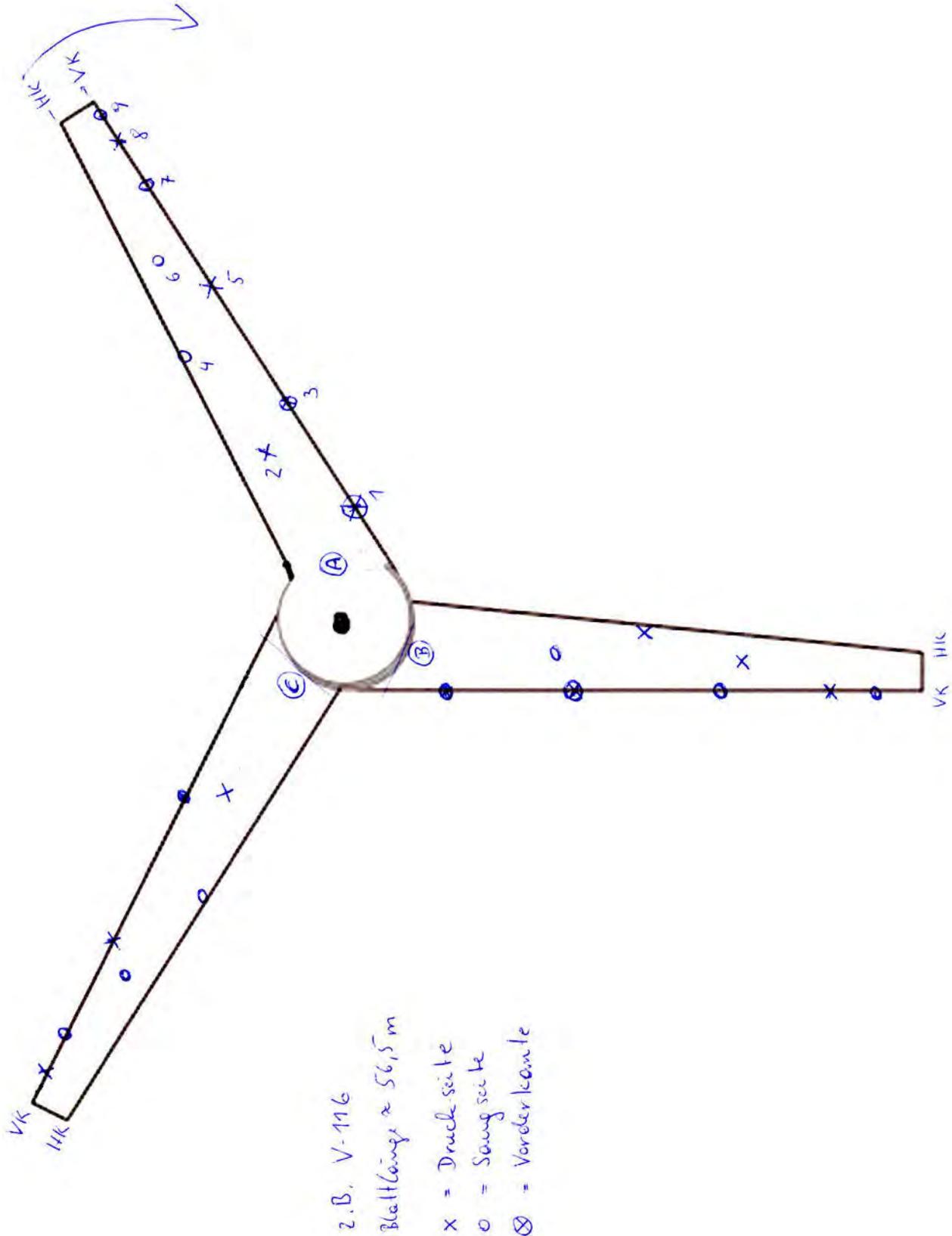
Für kleine Anlagen (d.h. Rotordurchmesser  $< 80$  m) soll der Abstand in a) von 15 m auf 10 m reduziert werden.

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

Folgende Skizze soll die Mindestanforderung an Sensorpositionen anhand eines konkreten Beispiels verdeutlichen (Anlage: Vestas V-116, Blattlänge ~56,5 m):



Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!

## RICHTLINIE

### Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

---

Die definierten Positionen sind in folgender Tabelle für die drei Blätter A, B und C angeführt (Nummerierung wie in Skizze für Blatt A gezeichnet).

Beispiel Vestas V116, Blattlänge ~ 56,5 m

| Blatt | Sensor Nr. | Radius | Abstand Hinterkante | Blattseite   | Windrose |
|-------|------------|--------|---------------------|--------------|----------|
|       |            | m      | %                   | VK / DS / SS | °        |
| A     | 1          | 5,7    | 100                 | VK           | 180      |
|       | 2          | 18,8   | 50                  | DS           | 180      |
|       | 3          | 20,7   | 100                 | VK           | 180      |
|       | 4          | 28,3   | 10                  | SS           | 180      |
|       | 5          | 35,7   | 90                  | DS           | 90       |
|       | 6          | 37,7   | 50                  | SS           | 180      |
|       | 7          | 50,7   | 90                  | SS           | 270      |
|       | 8          | 53     | 90                  | DS           | 90       |
|       | 9          | 55     | 90                  | SS           | 270      |
| B     | 1          | 5,7    | 100                 | VK           | 180      |
|       | 2          | 18,8   | 50                  | SS           | 180      |
|       | 3          | 20,7   | 100                 | VK           | 180      |
|       | 4          | 28,3   | 10                  | DS           | 180      |
|       | 5          | 35,7   | 90                  | SS           | 270      |
|       | 6          | 37,7   | 50                  | DS           | 180      |
|       | 7          | 50,7   | 90                  | DS           | 90       |
|       | 8          | 53     | 90                  | SS           | 270      |
| C     | 1          | 18,8   | 50                  | DS           | 180      |
|       | 2          | 20,7   | 100                 | VK           | 180      |
|       | 3          | 28,3   | 10                  | SS           | 180      |
|       | 4          | 35,7   | 90                  | DS           | 90       |
|       | 5          | 37,7   | 50                  | SS           | 180      |
|       | 6          | 50,7   | 90                  | SS           | 270      |
|       | 7          | 53     | 90                  | DS           | 90       |

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

---

### 6 Algorithmus für Detektion Eisfreiheit (bzw. automatischer Wiederanlauf)

Sobald ein Sensor „SIGNAL LEVEL 5“ oder ein Sensor „SIGNAL LEVEL 4“ oder zwei benachbarte Sensoren auf einem Blatt „SIGNAL LEVEL 3“ liefern, wird das Signal „AUTOSTART NOT OK“ ausgegeben.

Ist dies nicht der Fall, wird das Signal „AUTOSTART OK“ ausgegeben.

Die Funktion „Detektion Eisfreiheit“ kann solange fortgeführt werden solange:

- a) Mindestens 2/3 aller Sensoren der Mindestanforderung aktiv sind.
- b) Mindestens 2 Spitzensensoren an 2 Blättern aktiv sind.
- c) Pro Blatt zumindest zwei Blattseitensensoren (d.h. Sensoren an Vorderkante ausgeschlossen) aktiv ist.
- d) An jeder Vorderkante zumindest alle 30 m ein Sensor aktiv ist.

Sollten obige Bedingungen nicht erfüllt sein, wird immer das Signal „AUTOSTART NOT OK“ ausgegeben.

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# RICHTLINIE

## Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602

---

### 7 Algorithmus Betrieb mit Eis

Folgender Algorithmus wird verwendet, falls ein Betrieb unter Vereisungsbedingungen möglich ist und erst ab einer bestimmten Eisdicke einer Eisschicht das Signal von „KEIN EIS“ auf „EIS“ wechseln soll:

In diesem Fall dient das „SIGNAL LEVEL 4“ (ab 10 mm) als „Eissignal“ (unter Punkt 3 und Punkt 4 wurde immer von „SIGNAL LEVEL 3“ ausgegangen):

- a) Betrieb mit Blattheizung: Gleiche Sensorpositionen wie unter Punkt 5 (Detektion von Eisfreiheit)
- b) Betrieb ohne Blattheizung: Sensoren an der Vorderkante – Anzahl und Position wie unter Punkt 5 (Detektion von Eisfreiheit) aber nur an der Vorderkante.

Für den „Betrieb mit Eis“ gelten dieselben Regeln (sofern anwendbar) für den Ausfall von Sensoren (d.h. welche Sensoren dürfen ausfallen) wie im Punkt 5.

### 8 „Safety State“

Im Falle eines Fehlers, muss das System in einen sogenannten „Safety State“ übergehen. D.h. es muss gewährleistet sein, dass der Ausgang der Basisstation im Fehlerfall auf „System NOT OK“ oder zumindest „EIS“ schaltet.

Mögliche Fehlerfälle im Betrieb (vgl. FMEA – Analyse):

- Der Rechner kann das Relais nicht vom „angezogenen Zustand“ (Zustand „HIGH“, „SYSTEM OK“) in den „getrennten Zustand (Zustand „LOW“, „SYSTEM NOT OK“) umschalten (d.h. Relais defekt bzw. „steckt“).

### 9 Abkürzungen

| Abkürzung | Bedeutung  |
|-----------|--|
| FMEA      | Failure Mode and Effects Analysis / Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse |
|           |  |

*Achtung: Gedruckte Version unterliegt nicht der Änderungshistorie!*

# COMPONENT CERTIFICATE

Certificate No.:  
CC-GL-IV-1-00526-4-EN

Issued:  
2018-04-04

Valid until:  
2023-02-18

Issued for:

## eologix ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t)

Specified in Annex 1

Issued to:

## eologix sensor technology gmbh

Kratkystrasse 2  
8020 Graz  
Austria

According to:

## GL-IV-1:2010 Guideline for the Certification of Wind Turbines

In connection with relevant parts of:

## DNVGL-SE-0439 Certification of condition monitoring DNVGL-RP-0175 Icing of wind turbines

Based on the documents:

CR-IPE-GL-IV-1-00526-3

Certification Report Implementation of design-related requirements in Production and Erection Statement, dated 2018-03-26

CR-DA-GL-IV-1-00526-3  
20100151450223

Certification Report Design Assessment, dated 2018-03-26

Quality System Certificate issued by TÜV Austria, dated 2016-09-07, valid until 2019-09-06

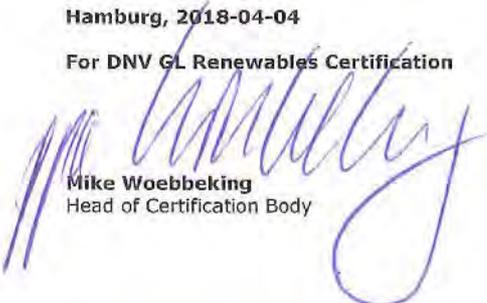
FCR-CC-GL-IV-1-00526-3

Final Certification Report, dated 2018-04-04

Changes of the system design, the production or the manufacturer's quality system are to be approved by DNV GL.

Hamburg, 2018-04-04

For DNV GL Renewables Certification

  
Mike Woebeking  
Head of Certification Body



By DAkkS according DIN EN IEC/ISO 17065 accredited Certification Body for products. The accreditation is valid for the fields of certification listed in the certificate.

Hamburg, 2018-04-04

For DNV GL Renewables Certification

  
Manuel Gemuend  
Senior Engineer

# COMPONENT CERTIFICATE – ANNEX 1

Certificate No.: CC-GL-IV-1-00526-3-EN

Page 2 of 3

## Wind turbine component certification

Basic standard GL-IV-1; 2010

### General

|  |          |
|--|----------|
| Rated power (base station)             | 10 W     |
| Communication range free line of sight | 250 m    |
| Design life time sensor                | 10 years |
| Design life time base station          | 20 years |
| Software version                       | Rev.68   |

### Electrical network conditions

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Normal supply voltage and range   | 230 V |
| Normal supply frequency and range | 50 Hz |

### Other environmental conditions

|  |  |
|--|--|
| Normal and extreme temperature ranges      | -30/+60°C                                      |
| Relative humidity of the air               | 100 %  |
| Description of lightning protection system | Designed acc. to GL-IV-1<br>Protection Level I |

### Interfaces

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Interface to other components | Rotor blade, electrical system, turbine controller |
|-------------------------------|--|

### Base station

|  |  |
|--|--|
| Manufacturer                                   | eologix sensor technology g mbh                                |
| Type   | BET214t  |
| Rated power                                    | 10 W   |
| Rated frequency                                | 50 Hz  |
| Rated voltage                                  | 230 V  |
| Devices in base station - lightning protection | according IEC 62305-4 LPZ 0B                                   |
| Degree of protection                           | IP55   |
| Data sheet / manual                            | Base Station for eologix Wireless Sensors Data Sheet, Rev. 1.9 |

### Sensor

|   |  |
|---|--|
| Manufacturer                                | eologix sensor technology gmbh   |
| Type  | CET214t  |
| Rated power                                 | Solar-powered  |
| Transmission power                          | 10 mW  |
| Test frequency                              | 1/60 Hz (standard; adjustable range from 1/30 to 1/120 Hz)                 |
| Minimum ice density for detection           | 0,25 kg/dm <sup>3</sup>  |
| Minimum numbers of sensors per wind turbine | 3  |
| Weight (Sensor / Sensor + Tape)             | 35 g / 80 g  |
| Minimum bending radius                      | 5 mm   |
| Data sheet / manual                         | Wireless Ice and Temperature Sensor for Rotor Blades, Data Sheet, Rev. 1.6 |

## COMPONENT CERTIFICATE - ANNEX 2

Certificate No.: CC-GL-IV-1-00526-3-EN

Page 3 of 3

The IPE is based on the following DNV GL inspections:

| <b>Component</b>   | <b>Manufacturer / Workshop</b>   | <b>DNV GL Inspection date</b> |
|--|--|-------------------------------|
| eologix Eiserkennungssystem<br>(Basisstation BET214t,<br>Sensor CET214t) | eologix sensor technology gmbh<br>/ Kratkystasse 2, 8020 Graz,<br>Österreich | 2015-08-19                    |

# KOMPONENTEN ZERTIFIKAT

Zertifikatsnummer:  
CC-GL-IV-1-00526-4-DE

Ausgestellt:  
2018-04-04

Gültig bis:  
2023-02-18

Ausgestellt für:

## eologix Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t)

Definiert in Anhang 1

Ausgestellt an:

## eologix sensor technology gmbh

Kratkystrasse 2  
8020 Graz  
Österreich

Normativer Verweis:

## GL-IV-1:2010 Guideline for the Certification of Wind Turbines

In Verbindung mit relevanten Teilen von:

## DNVGL-SE-0439 Certification of condition monitoring DNVGL-RP-0175 Icing of wind turbines

Basierend auf den Dokumenten:

CR-IPE-GL-IV-1-00526-3

Certification Report Implementation of design-related requirements in Production and Erection, dated 2018-03-26

CR-DA-GL-IV-1-00526-3  
20100151450223

Certification Report Design Assessment, dated 2018-03-26

Quality System Certificate issued by TÜV Austria, dated 2016-09-07, valid until 2019-09-06

FCR-CC-GL-IV-1-00526-3

Final Certification Report, dated 2018-04-04

Änderungen in der Konstruktion, der Fertigung oder dem Qualitätsmanagementsystem sind durch DNV GL zu prüfen, andernfalls verliert dieses Komponentenzertifikat seine Gültigkeit.

Dieses Zertifikat ist die Übersetzung des englischsprachigen Originals mit der Zertifikatsnummer CC-GL-IV-1-00526-4-EN.

Hamburg, 2018-04-04

For DNV GL Renewables Certification

  
Mike Woebeking  
Head of Certification Body



By DAKKS according DIN EN IEC/ISO 17065 accredited Certification Body for products. The accreditation is valid for the fields of certification listed in the certificate.

Hamburg, 2018-04-04

For DNV GL Renewables Certification

  
Manuel Gemuend  
Senior Engineer

# KOMPONENTEN ZERTIFIKAT- Anhang 1

Zertifikatsnummer: CC-GL-IV-1-00526-3-DE

Page 2 of 3

## Windenergieanlagen Komponentenzertifizierung

Basic standard

GL-IV-1: 2010

### Basisdaten

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Nennleistung (Basisstation)      | 10 W     |
| Reichweite bei freier Sichtlinie | 250 m    |
| Lebensdauer Sensor               | 10 Jahre |
| Lebensdauer Basisstation         | 20 Jahre |
| Software version                 | Rev.68   |

### Elektrische Anschlussbedingungen

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Versorgungsspannung | 230 V |
| Frequenz            | 50 Hz |

### Umweltbedingungen

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Temperaturbereich              | -30/+60°C  |
| Luftfeuchtigkeit               | 100 %  |
| Beschreibung Blitzschutzsystem | ausgelegt entsprechend<br>GL-IV-1 Protection Level I |

### Schnittstellen

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Schnittstellen zu anderen Bauteilen | Rotorblatt, elektrisches<br>System, Anlagensteuerung |
|-------------------------------------|--|

### Basisstation

|   |  |
|---|--|
| Hersteller                              | eologix sensor technology<br>gmbh                                    |
| Modell                                  | BET214t  |
| Nennleistung                            | 10 W   |
| Frequenz                                | 50 Hz  |
| Spannung                                | 230 V  |
| Überspannungsschutz in der Basisstation | bzgl. IEC 62305-4 LPZ 0B   |
| Schutzklasse                            | IP55   |
| Datenblatt / Handbuch                   | Base Station for eologix<br>Wireless Sensors Data Sheet,<br>Rev. 1.9 |

### Sensor

|   |   |
|---|---|
| Hersteller                                      | eologix sensor technology<br>gmbh   |
| Modell  | CET214t   |
| Nennleistung                                    | solarbetrieben  |
| Sendeleistung                                   | 10 mW   |
| Messintervall                                   | 1/60 Hz (standard;<br>einstellbarer Bereich von<br>1/30 bis 1/120 Hz)               |
| Minimale Eisdichte für die Erkennung            | 0,25 kg/dm <sup>3</sup>   |
| Minimale Anzahl von Sensoren pro Anlage         | 3   |
| Gewicht (Sensor / Sensor mit Applikationsfolie) | 35 g / 80 g   |
| Minimaler Biegeradius                           | 5 mm  |
| Datenblatt / Handbuch                           | Wireless Ice and<br>Temperature Sensor for<br>Rotor Blades, Data Sheet,<br>Rev. 1.6 |

## KOMPONENTEN ZERTIFIKAT- Anhang 2

Zertifikatsnummer: CC-GL-IV-1-00526-3-DE

Page 3 of 3

Die IPE basiert auf den folgenden DNV GL Inspektionen:

| <b>Komponente</b>  | <b>Hersteller / Betrieb</b>   | <b>DNV GL Inspektionsdatum</b> |
|--|---|--------------------------------|
| eologix Eiserkennungssystem<br>(Basisstation BET214t,<br>Sensor CET214t) | eologix sensor technology gmbh<br>/ Kratkystrasse 2, 8020 Graz,<br>Österreich | 2015-08-19                     |

## BET214t

# Base Station for eologix Wireless Sensors Data Sheet Rev. 1.9

**Disclaimer:** Information furnished by eologix sensor technology gmbh (eologix) is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by eologix for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of eologix. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

**Disclaimer:** Warning: risk of electric shock! Only qualified specialist personnel may install, start and operate the device. Observe the national safety and accident prevention regulations. Prior to installation, disconnect the input voltage and make sure that it cannot be switched on unintentionally. Mains connection must be performed by specialist personnel and protection against electric shock must be ensured.

Make sure that the device can be switched off outside the box according to the regulations in EN 60950. Cover the termination area (i.e., close and lock the cabinet) after installation in order to avoid accidental contact with live parts.

Notes on disposal: do not dispose of this device in household waste. The device should be disposed of in accordance with the applicable national regulation and can be returned to the manufacturer at any time.

## I. Summary

The eologix BET214t is a base station (i.e. a receiving unit) for eologix CET214t and compatible ice and temperature sensors. Typical mounting positions for the device comprise but are not limited to the nacelle and locations on ground nearby the turbine tower (e.g. in a substation or a transformer cabinet).

The base station system consists of an electric cabinet and one or more receiver antennas, depending on the setup of the installation. These antenna(s) receive(s) signals transmitted by the CET214t and compatible sensors, store(s) the data and transfer(s) data to the eologix server for data processing and data allocation for the customer. Furthermore, switching signals are generated or different bus systems are provided for turbine control.

## II. Operational Principle

The BET214t base station receives the data packages from the CET214t and compatible sensors. From the received data, it controls the changeover relays (System OK/NOT OK and/or ICE/NO ICE) and transmits data to the online server for further evaluation. Additionally different bus systems are provided for data output.

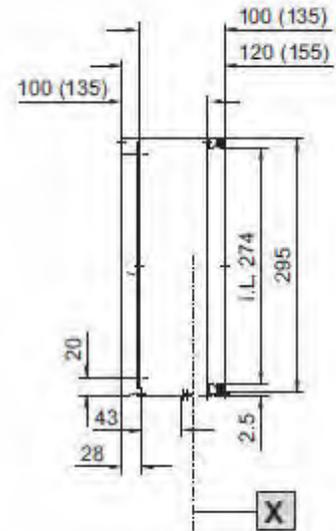
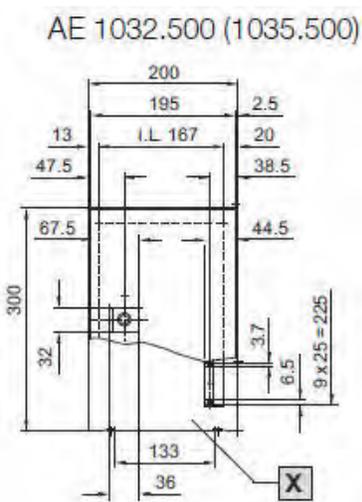
## III. Key Features

Tab. 1. Key Features

| Characteristics                     | Conditions                | Min | Typ         | Max | Unit  |
|-------------------------------------|---------------------------|-----|-------------|-----|-------|
| Operating Temperature Range         |                           | -30 |             | 60  | °C    |
| Air humidity                        | non condensing            | 0   |             | 95  | % rh  |
| CET214t communication distance      | Free line-of-sight        |     | 250         |     | m     |
| Lightning Protection Devices in box | Ethernet, Antenna, 24 VDC |     | 0B          |     | Zone  |
| Measurement rate                    |                           | 0.5 | 1           | 2   | 1/min |
| Physical dimensions box             | L x W x H                 |     | 200x180x300 |     | mm    |
| Weight                              |                           |     |             | 6   | kg    |
| CE conformity                       |                           |     | passed      |     | -     |
| Protection Level                    | Cabinet closed            |     | IP55        |     | -     |

For documentation on CE conformity, please contact eologix.

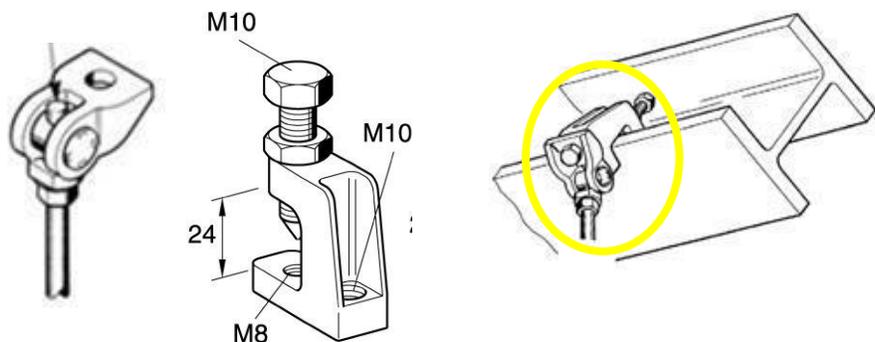
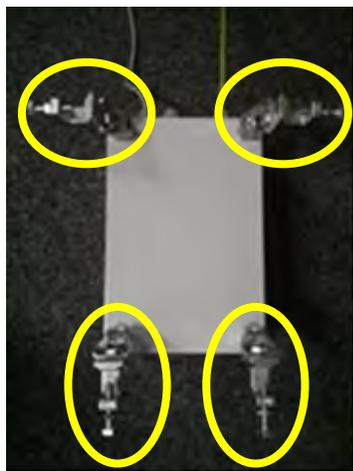
## IV. Mounting Positions



Required mounting holes for the base station cabinet : 4 holes in a **rectangular pattern of 160 mm x 260 mm**, diameter: M8 screw. For further details refer to Rittal No. 1035.500 data sheet.

Option A (on request only): mounting brackets for fixation to IPS profile:

The example below shows the backside of the cabinet attached to 4 joints and 4 mounting clamps and the respective sketches of the joints and the clamps.



Thus, the cabinet can be attached to most available H-beams as shown below:



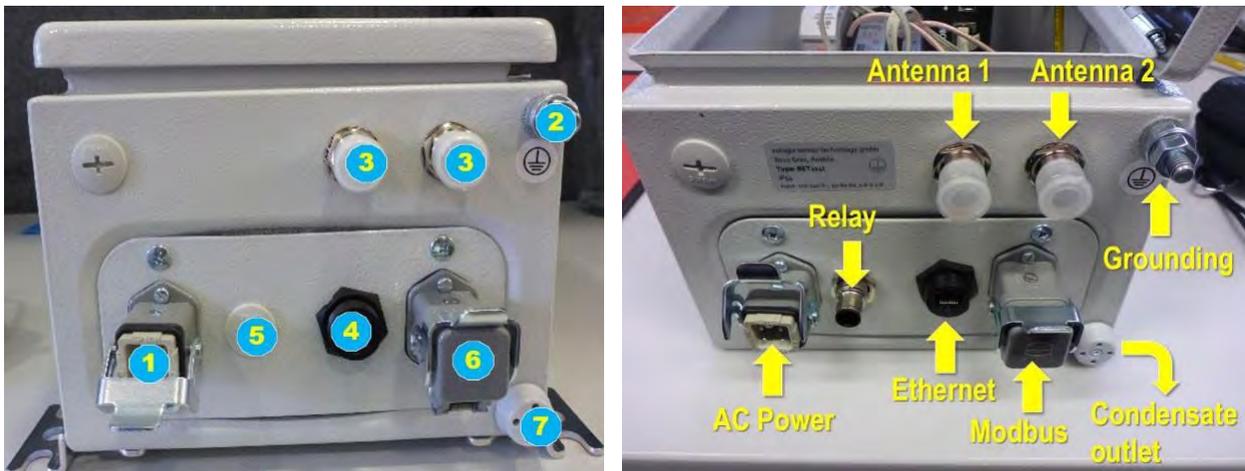
Option B (on request only): mounting brackets for fixation to IPS profile (on request): Rittal brackets No. 2508.100 can be supplied pre-mounted to the corners of the device.

## V. Electrical Connections

The base station requires electrical connection to

- 1 Power supply (AC Power, compare section IX, typical 100-240 VAC)
- 2 Grounding (16mm<sup>2</sup> via M8 bolt in the cabinet)
- 3 Two receiving antennas (antenna 1 and antenna 2; compare section VI, N connectors)
- 4 Port A Network connection (RJ45)
- 5 Port B Network connection (optional, RJ45)
- 6 Local output (optional, flush-type plug, 8- pos, M12 speedcon, relay switch contacts, see section VIII)
- 7 (Condensate outlet = non electrical outlet)

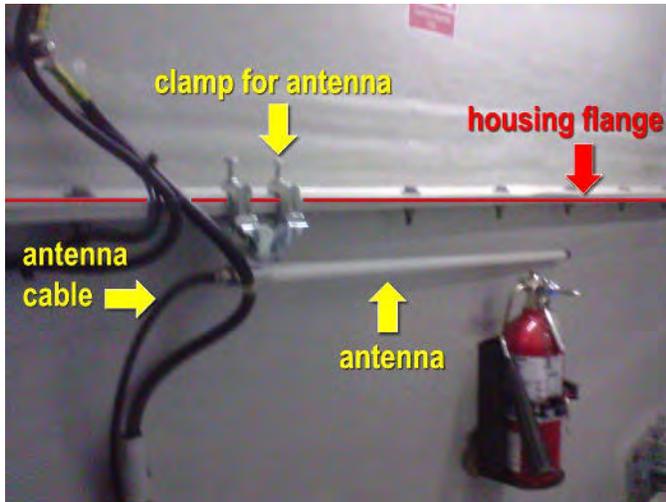
An example of the connections (on the bottom base station) is shown here.



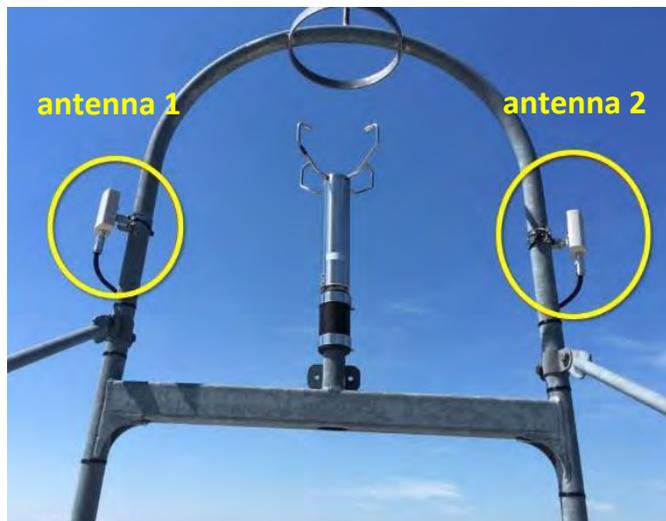
## VI. Receiving Antennas

For redundancy reasons, the base station is delivered with **two** receiving antennas. The receiving antennas have to be connected to the base station with the delivered cables. The long rod receiving antennas for inside the nacelle can be mounted similarly to the base station (cabinet) e.g. on most IPS profiles. For outdoor use, other antenna types are supplied.

Examples for positioning of the antennas are shown below:



On request, the receiving antennas can also be mounted on nearly every fixture inside and outside the nacelle or on ground near the turbine. Other example is shown below for outside installation:



## VII. Application Notes

The BET214t base station and the antenna assemblies are **individually configured** for the mounting location as demanded by the customer. Options include:

- ➔ Outside of the turbine (e.g. in a substation or transformer cabinet)
- ➔ Inside the nacelle (e.g. on an option rack or in an electrical cabinet)
- ➔ Outside of the nacelle, if the nacelle housing is made of metal (i.e. conductive material)
- ➔ Antenna choice is wind turbine type specific and will be evaluated by eologix in accordance with the customer.

## VIII. Characteristics

Tab. 2. Further technical data

| Characteristics  | Conditions            | Min | Typ                        | Max | Unit            |
|--|-----------------------|-----|----------------------------|-----|-----------------|
| Power consumption  |                       |     | 5                          | 10  | Watt            |
| Input Voltage (DC)   | optional              | 12  | 24                         | 28  | Volt            |
| Input Voltage (AC)   |                       | 100 |                            | 240 | Volt            |
| Ethernet Network ports required for monitoring (RJ45 Port A) | > CAT.5<br>10/100     |     | 1194, 22, 80, 443          |     | Port No.        |
| Output 1 (System ok/not ok)*                                 | 1 = ok<br>0 = not ok  | 0   |                            | 1   | -               |
| Output 2 (ice/no ice)*                                       | 1 = no ice<br>0 = ice | 0   |                            | 1   | -               |
| Digital Bus System (RJ45 Port B)                             | Standard              |     | Modbus TCP                 |     |                 |
|  | Optional              |     | CAN; RS-485;<br>Modbus RTU |     |                 |
| Max. Cable length Antenna                                    |                       |     |                            | 10  | meters          |
| Box Grounding Cross-Section                                  | Copper                | 16  |                            |     | mm <sup>2</sup> |

\*two changeover relays are available, max. voltage: 30 Volt, max. current: 2 Ampere

# CET214t

## Wireless Ice and Temperature Sensor for Rotor Blades, Data Sheet Rev. 1.6

**Disclaimer:** Information furnished by eologix is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by eologix for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of eologix. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

### I. Summary

The eologix CET214t is a wireless ice and temperature sensor. Due to its flexible design it can easily be attached to flat and curved surfaces such as rotor blades of wind turbines. It uses an SRD communication band and is powered from photovoltaic cells thus offering unlimited time of operation without recharging or battery replacement. In order to bridge night time and longer periods of icing on the photovoltaic cells, energy storage elements are integrated in the sensor. The device is entirely sealed and does not require any electrical connections.

Requires BET214t base station or a BET214t compatible base station.

### II. Operational Principle

The sensor controller is carrying out two main tasks: acquiring measurement data and data computing on one hand side and wireless data transmission on the other. For icing detection, an impedance-type measurement circuitry is employed. For temperature measurement, an integrated circuit with a typical accuracy of 0.25°C is used.

## III. Key Features

Tab. 1. Key Data

| Characteristics                      | Conditions              | Min  | Typ             | Max  | Unit               |
|--------------------------------------|-------------------------|------|-----------------|------|--------------------|
| Operating Temperature Range          |                         | -30  |                 | 60   | °C                 |
| Air humidity                         |                         | 0    |                 | 100  | %rH                |
| Communication distance               | Free line-of-sight      |      | 250             |      | m                  |
| Temperature Measurement Range        |                         | -40  |                 | +80  | °C                 |
| Temperature Measurement Resolution   |                         | 0.25 | 0.25            | 0.25 | °C                 |
| Temperature Measurement Accuracy     |                         |      | 0.25            | 0.5  | °C                 |
| Measurement Rate                     | Fixed during production | 0.5  | 1               | 2    | 1/min              |
| Minimum Density of Ice for Detection |                         |      | 0.25            |      | kg/dm <sup>3</sup> |
| Physical Dimensions (Sensor)         | L x W x H               |      | 240 x 100 x 2   |      | mm                 |
| Physical Dimensions (Tape)           | L x W x H               |      | 360 x 254 x 0.3 |      | mm                 |
| Weight (Sensor)                      |                         |      | 35              |      | g                  |
| Weight (Sensor + Tape)               |                         |      | 80              |      | g                  |

## IV. Potential Applications

- Wind Turbine Rotor Blades: 3-6 sensors per blade are recommended
- Wind Turbine Tower / Nacelle Outer Skin

## V. Device Characteristics

Tab. 2. Further characteristics

| Characteristics                            | Conditions                       | Min | Typ  | Max | Unit |
|--|----------------------------------|-----|------|-----|------|
| Minimum bending radius (Sensor)            |                                  | 5   |      |     | cm   |
| Recommended storage temperature            | ambient light > 1000 Lux         | 0   | 25   | 40  | °C   |
| Recharging time (Brown-out to Full)        | AM1.5, 1000W/m <sup>2</sup> 20°C |     | 10   |     | h    |
| Dark operation time                        | 20 °C                            |     | 1000 |     | h    |
| Charge/Discharge Cycles (calculated)       | 5 % discharge depth, 20°C        |     | 5000 |     | 1    |
| Transmission Power                         |                                  | 1   |      | 10  | mW   |
| Transmission Power Average over Duty Cycle |                                  |     | 1    | 2   | µW   |
| Transmission Frequency (EU)                |                                  | 863 | 868  | 870 | MHz  |
| Transmission Frequency (North America)     |                                  | 902 | 915  | 928 | MHz  |

Adhesive Material: 3M Wind Protection Tape W8607, transparent

Other materials in contact with the blade surface: silicone coated (100% solids) printed circuit board.

**ATTENTION:** if a storage time exceeding the guaranteed dark operation time (which starts with delivery at the customer) can not be excluded, all sensors must be either stored in daylight conditions with the solar panel facing the light OR be exposed to direct sunlight once every two weeks for at least 4 hours. If in doubt, please contact eologix sensor technology gmbh.

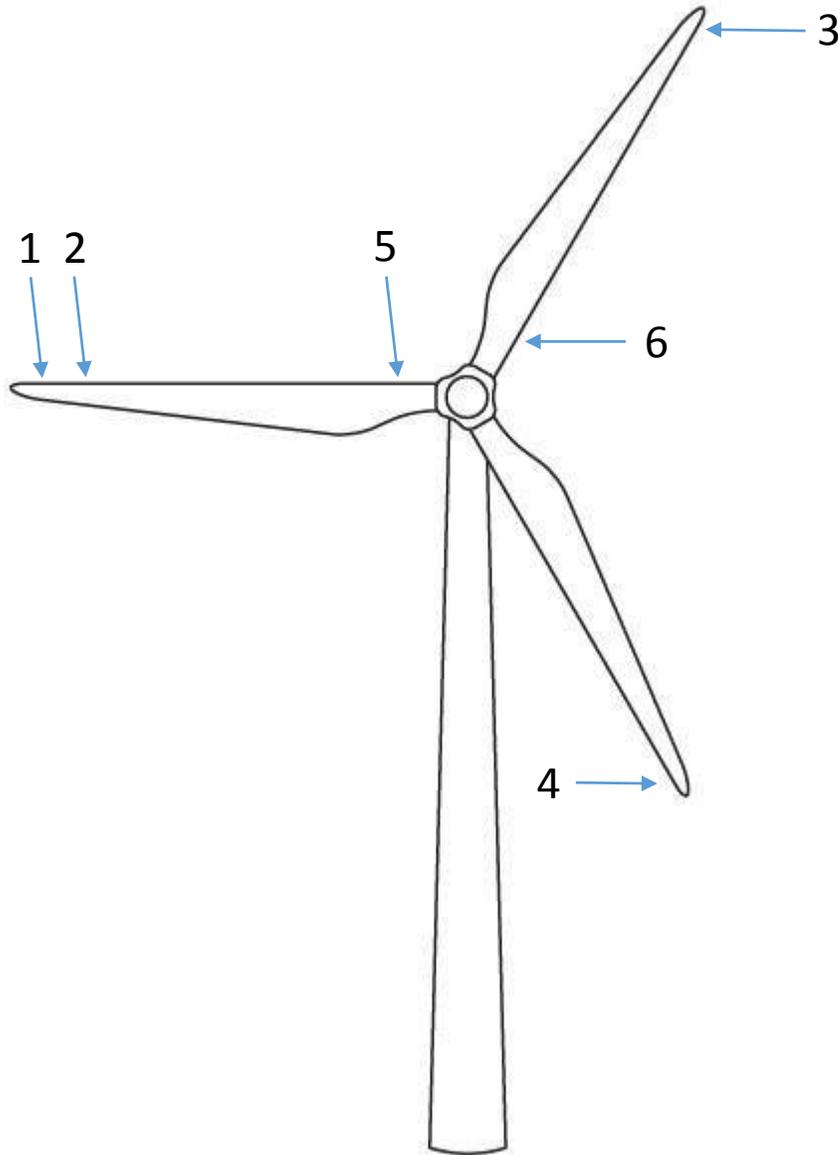
## VI. Application Notes

The sensor is applied on a sheet of transparent 3M WindTape W8607. Before installation, please refer to 3M's information on WindTape application and prepare the blade surface accordingly.

To confirm with the DNV-GL certificate the number and position of sensors have to be coordinated with eologix (depending on e.g. size of turbine, type of application: ice detection, ice free detection, operation under ice loads, etc.).

## VII. Maintenance

Regular maintenance includes optical inspection of the sensors on a routine base, e.g. once in two years. In case any damages (especially damages in the erosion protection tape) are observed, the customer is asked to inform eologix.

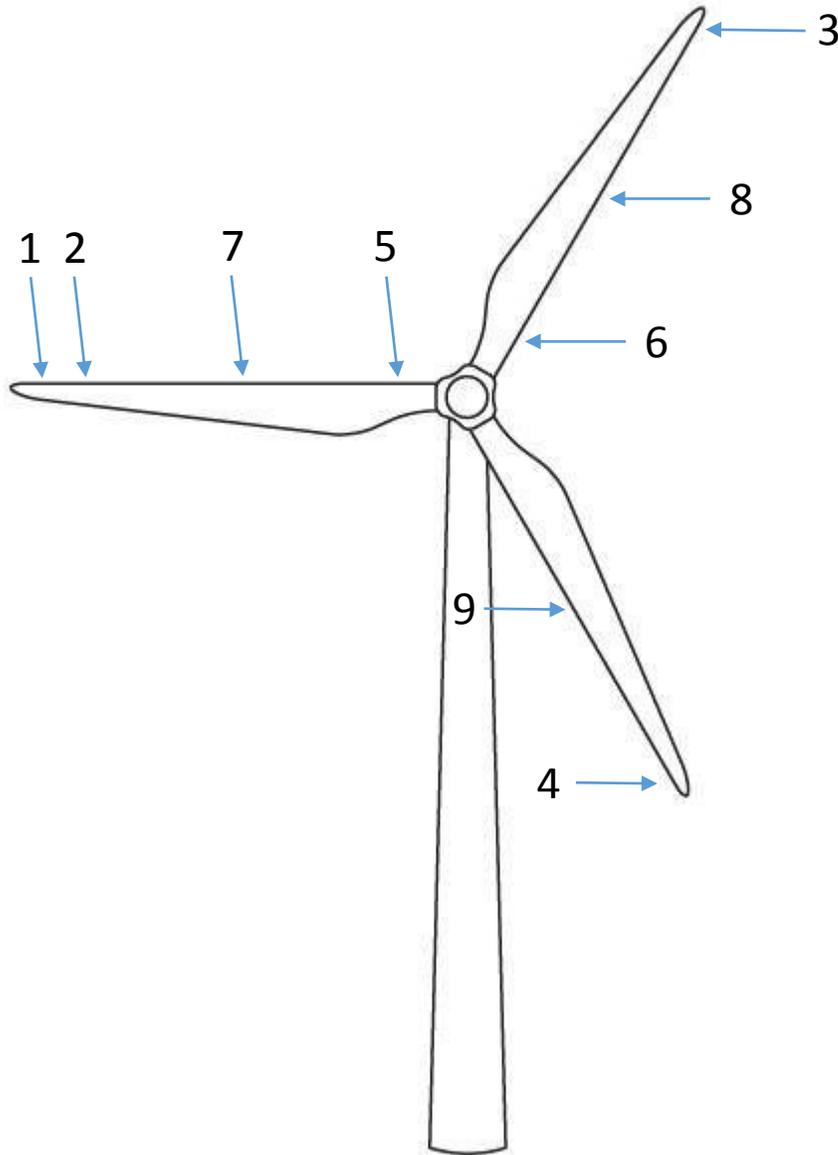


### eologix safe (6 Sensoren)

- Toleranz aller Längenangaben:  $\pm 1$  Meter
- Alle Sensoren (1-6): Leading Edge
- Sensor Nr. 1, 2, 3, 4: Entfernung von Wurzel:  $> 90\%$  der Blattlänge
- Abstand zwischen Sensor Nr. 1 und 2  $\geq 1$  m
- Sensor Nr. 5, 6: Entfernung von Wurzel:  $< 10\%$  der Blattlänge

### Bedingungen zur Redundanz

Betrieb zur Detektion von Eis, solange 2 Sensoren an der Spitze und 1 Sensor an der Wurzel aktiv sind.

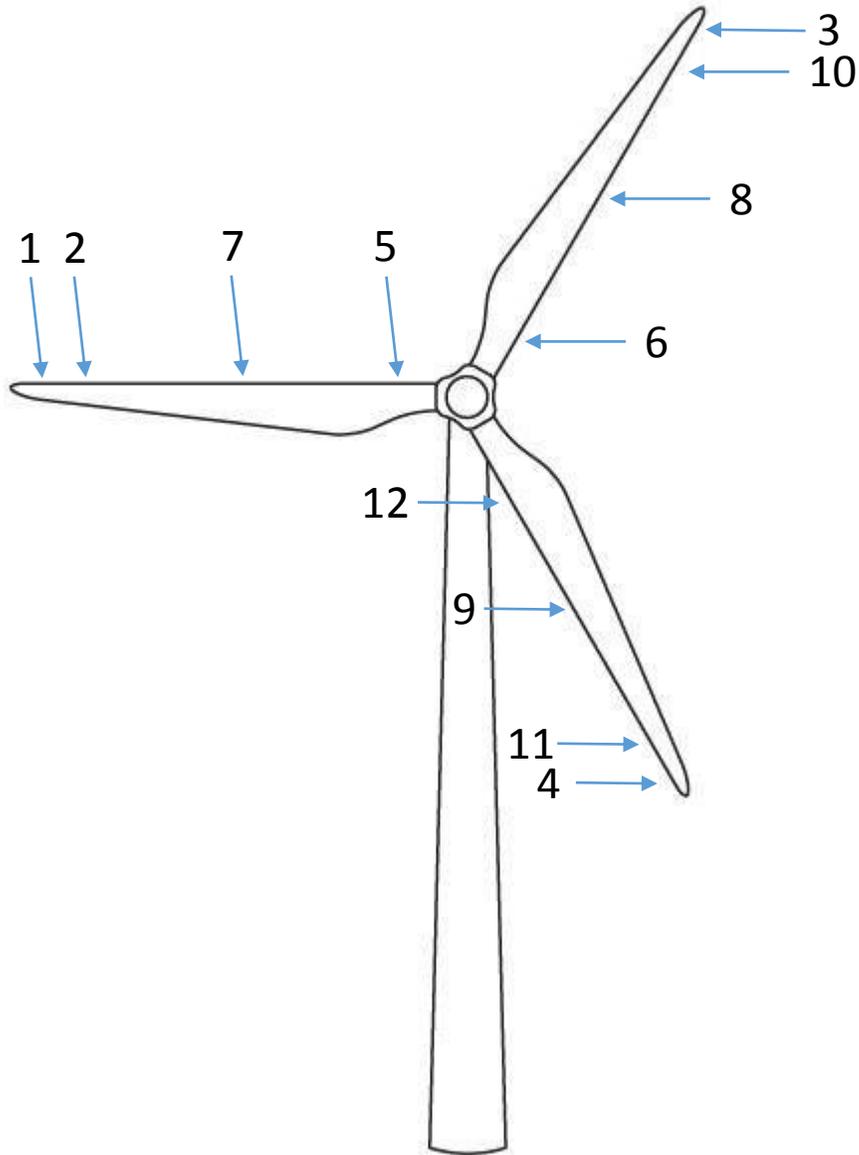


### eologix advanced (9 Sensoren)

- Toleranz aller Längenangaben:  $\pm 1$  Meter
- Alle Sensoren (1-9): Leading Edge
- Sensoren Nr. 1, 2, 3, 4: Entfernung von Wurzel:  $> 90\%$  der Blattlänge
- Sensoren Nr. 5, 6: Entfernung von Wurzel:  $< 10\%$  der Blattlänge
- Sensoren Nr. 7, 8, 9: Entfernung von Wurzel:  $50\%$  der Blattlänge

### Bedingungen zur Redundanz

Betrieb zur Detektion von Eis, solange 2 Sensoren an der Spitze und 1 Sensor an der Wurzel aktiv sind.

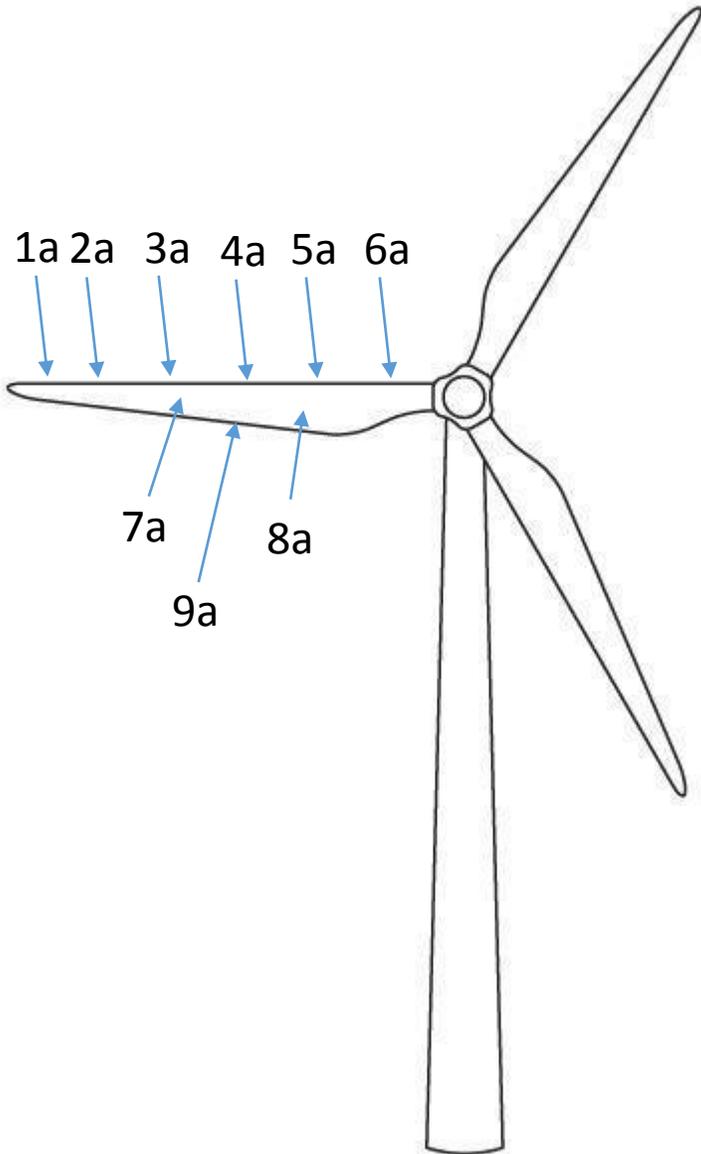


### eologix accurate (12 Sensoren)

- Toleranz aller Längenangaben:  $\pm 1$  Meter
- Alle Sensoren (1-12): Leading Edge
- Sensor Nr. 1, 2, 3, 4, 10, 11: Entfernung von Wurzel:  $> 90\%$  der Blattlänge
- Sensor Nr. 5, 6, 12: Entfernung von Wurzel:  $< 10\%$  der Blattlänge
- Sensor Nr. 7, 8, 9: Entfernung von Wurzel:  $50\%$  der Blattlänge

### Bedingungen zur Redundanz

Betrieb zur Detektion von Eis, solange 2 Sensoren an der Spitze und 1 Sensor an der Wurzel aktiv sind.



### Exemplarisches Szenario „automatischer Wiederanlauf“

(1 Blatt dargestellt, alle drei Blätter symmetrisch zu bestücken (Blatt „a“))

- Toleranz aller Längenangaben: +/- 1 Meter
- Positionen der Sensoren 1, 2, 3, 4, 5, 6: Leading Edge
  - 10m Abstand bei Rotordurchmesser < 80 m, sonst 15 m Abstand
- Positionen der Sensoren 7 & 8: Blattseite Druck/Saugseite, 33% und 66% Blattlänge
- Positionen des Sensors 9: Trailing Edge Saug&Druck, 50% Blattlänge

Die Montageposition darf +/- 1 m in radialer Richtung verändert werden  
Der Abstand zu Blitzrezeptoren muss mindestens 1 m betragen.

Nötige Anzahl von Sensoren und Position für einen automatischen Wiederanlauf

| Beispiele für Turbinen | Blatt | ~Blatt- | Wurze | Spitze | 1/3            | 2/3            | 1/2                | zusät-<br>zlich | Alle 10/15m entlang der Vorderkante,<br>2 Sensoren an der Spitze |      |      |      |      |      |      |     | # LE | Gesamt |
|------------------------|-------|---------|-------|--------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|--|------|------|------|------|------|------|-----|------|--------|
|                        | Ø     | länge   | 10%   | 90%    | Saug/<br>Druck | Saug/<br>Druck | Saug/Druck<br>Tail |                 | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m] |      |        |
|                        | [m]   | [m]     | [m]   | [m]    | [m]            | [m]            | [m]                | [m]             | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m] |      |        |
|                        | 52,0  | 24,5    | 2,5   | 22,1   | 8,2            | 16,3           | 12,3               | 16,3            | 2,5  | 12,5 | 22,1 | 23,0 |      |      |      |     | 4    | 24     |
|                        | 70,0  | 33,5    | 3,4   | 30,2   | 11,2           | 22,3           | 16,8               | 22,3            | 3,4  | 13,4 | 22,3 | 31,0 | 32,0 |      |      |     | 5    | 27     |
|                        | 82,0  | 39,5    | 4,0   | 35,6   | 13,2           | 26,3           | 19,8               | 26,3            | 4,0  | 13,0 | 19,0 | 26,0 | 35,0 | 37,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 90,0  | 43,5    | 4,4   | 39,2   | 14,5           | 29,0           | 21,8               | 29,0            | 4,4  | 14,5 | 22,0 | 29,0 | 40,0 | 42,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 100,0 | 48,5    | 4,9   | 43,7   | 16,2           | 32,3           | 24,3               | 32,3            | 4,9  | 16,2 | 24,3 | 32,3 | 45,0 | 47,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 101,0 | 49,0    | 4,9   | 44,1   | 16,3           | 32,7           | 24,5               | 32,7            | 4,9  | 16,0 | 24,5 | 32,7 | 45,0 | 47,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 112,0 | 54,7    | 5,5   | 49,2   | 18,2           | 36,4           | 27,3               | 36,4            | 5,5  | 18,0 | 27,0 | 35,5 | 49,5 | 52,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 115,0 | 56,0    | 5,6   | 50,4   | 18,7           | 37,3           | 28,0               | 37,3            | 5,6  | 18,7 | 28,0 | 35,6 | 50,5 | 54,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 116,0 | 57,0    | 5,7   | 51,3   | 19,0           | 38,0           | 28,5               | 38,0            | 5,7  | 19,0 | 28,5 | 38,0 | 52,0 | 54,0 |      |     | 6    | 30     |
|                        | 117,0 | 57,2    | 5,7   | 51,5   | 19,1           | 38,1           | 28,6               | 38,1            | 5,7  | 19,0 | 29,0 | 35,5 | 38,1 | 53,0 | 55,0 |     | 7    | 33     |
|                        | 126,0 | 61,5    | 6,2   | 55,4   | 20,5           | 41,0           | 30,8               | 41,0            | 6,2  | 21,2 | 31,0 | 36,2 | 41,0 | 57,0 | 59,0 |     | 7    | 33     |
|                        | 136,0 | 66,5    | 6,7   | 59,9   | 22,2           | 44,3           | 33,3               | 44,3            | 6,7  | 21,7 | 33,0 | 36,7 | 44,3 | 61,0 | 63,0 |     | 7    | 33     |
|                        | 150,0 | 73,5    | 7,4   | 66,2   | 24,5           | 49,0           | 36,8               | 49,0            | 7,4  | 22,4 | 36,8 | 42,0 | 49,0 | 67,0 | 69,0 |     | 7    | 33     |

Bei der Montage darf es zu einer Abweichung von +/- 1m kommen.

# Systembeschreibung

Eisdetektion und Temperaturmessung für Windkraftanlagen

Version 1.3

eologix sensor technology gmbh

Kratkystraße 2

8010 Graz

Österreich

+43 (0) 316 / 93 12 15

[office@eologix.com](mailto:office@eologix.com)

## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| Systemüberblick .....  | 3  |
| Sensor.....  | 4  |
| Eismessung .....   | 5  |
| Temperaturmessung.....   | 5  |
| Sensormontage.....   | 5  |
| Anwendungen.....   | 7  |
| Eisdetektion – eologix safe (6 Sensoren).....  | 7  |
| Algorithmus Eisdetektion .....   | 7  |
| Redundanz Eisdetektion.....  | 8  |
| Automatischer Wiederanlauf – eologix restart (Sensoranzahl abhängig von Blattlänge)..... | 8  |
| Algorithmus Automatischer Wiederanlauf.....  | 8  |
| Redundanz Automatischer Wiederanlauf .....   | 8  |
| Basisstation.....  | 9  |
| Basismontage .....   | 9  |
| Ausfallwahrscheinlichkeitsbetrachtung.....   | 10 |

## Systemüberblick

Das eologix Eisdetektionssystem ist ein blattbasierendes Messsystem. Das bedeutet, eine definierte Anzahl von Sensoren (abhängig von Applikation und z.T. Rotordurchmesser) messen **direkt** an der Oberfläche des Rotorblattes. Die Sensoren messen die Temperatur und erfassen die Dicke der Vereisung direkt an ihrer Montageposition, d.h. der Rotorblattoberfläche.

Die gemessenen Daten werden drahtlos an einen Empfänger (Basisstation) übermittelt. Die Basisstation empfängt die Messdaten aller Sensoren, wertet diese aus und kann je nach Kundenwunsch über verschiedenen Schnittstellen eingebunden werden (vgl. Bild 1).

Mit dem System können folgende Anwendungen entsprechend DNV-GL Komponentenzertifikat CC-GL-IV-1-00526-4-EN realisiert werden:

1. Eisdetektion (d.h. z.B. Stoppen der Anlage wegen Vereisung)
2. Eis-Frei-Detektion (d.h. automatischer Wiederanlauf der Windkraftanlage bei Eisfreiheit, nachdem ein Stopp wegen Vereisung erfolgte)

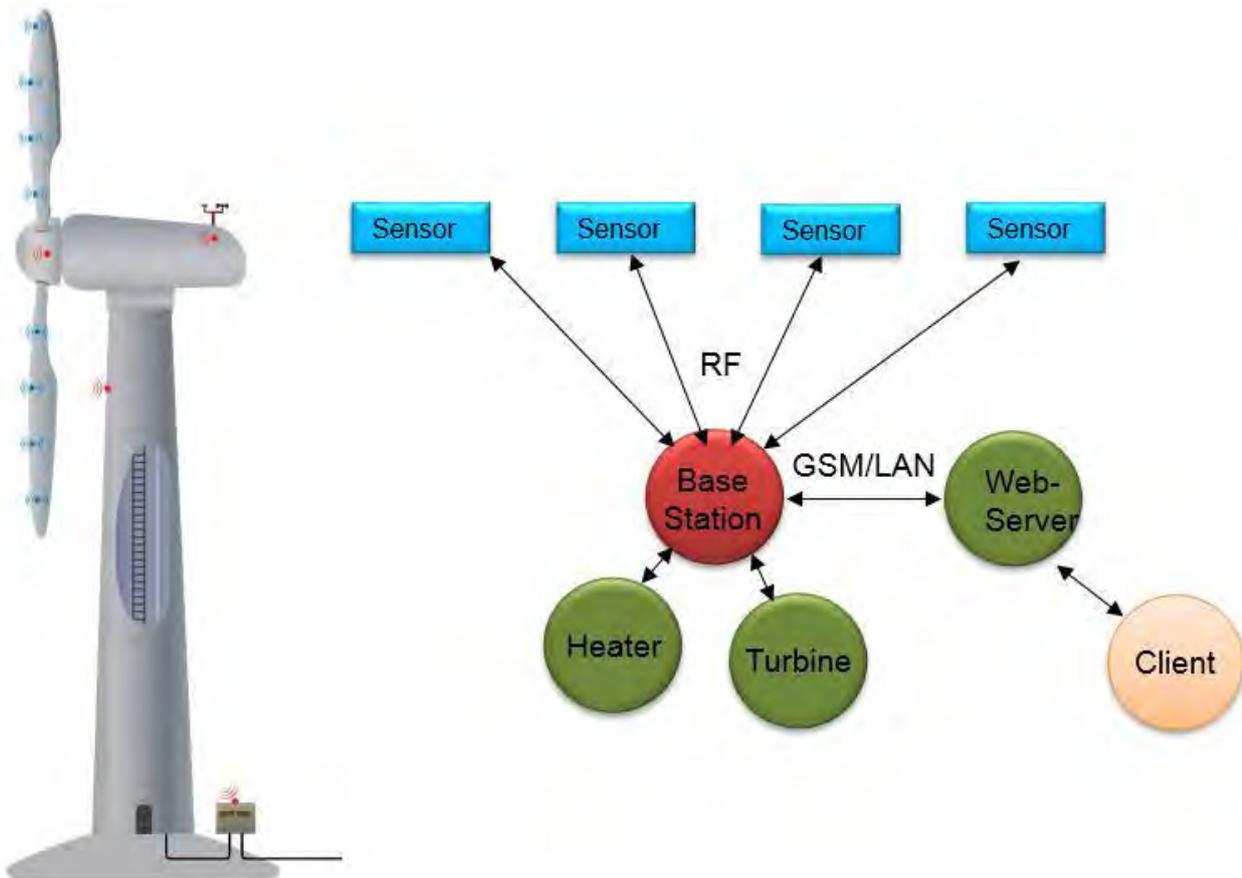


Bild 1 Systemüberblick

## Sensor

Die patentierte Sensoreinheit ist flexibel (weniger als 2 mm dick, vgl. Bild 3), kabellos, besitzt eine autarke Energieversorgung und besteht aus folgenden Komponenten:

- Funkschnittstelle zur Übermittlung der Daten
- Messfläche zur Bestimmung der elektrischen Impedanz der Oberfläche (direkte Messung des Vereisungszustandes)
- Messung der Temperatur
- Flexible Photovoltaikzelle zur Energiegewinnung aus Umgebungslicht
- Energiespeicher zur Überbrückung absoluter Dunkelheit (es ist eine Funktion des Sensors in absoluter Dunkelheit von über 1000 h gewährleistet)



Bild 2 Sensor inkl. Beschriftung der Einzelkomponenten



Bild 3 Darstellung der mechanischen Flexibilität des Sensors

## Eismessung

Folgende Signallevel inkl. deren Bedeutung werden pro Sensor zur Eisdetektion gemessen und ausgegeben:

- Signal Level 1 = freier Sensoroberfläche
- Signal Level 2 = „Aktivität“, z.B. Feuchte, Wasser, Raureif, etc. (kein Eis > 1 mm)
- Signal Level 3 = Eis mit einer Dicke von mehr als ca. 1 mm
- Signal Level 4 = Eis mit einer Dicke von mehr als ca. 10 mm
- Signal Level 5 = Eis mit einer Dicke von mehr als ca. 15 mm

Die folgenden Bilder wurden in einem Eis-Windkanal erstellt und zeigen exemplarisch die entsprechende Eisdicke pro Signal Level:



## Temperaturmessung

Die Oberflächentemperatur wird vom Sensor mit einer Genauigkeit von +/- 0,25°C im Bereich von -40°C bis +60°C gemessen.

## Sensormontage

Der Sensor wird auf einer Erosionsschutzfolie appliziert geliefert; mittels dieser Folie und einer selbstklebenden Rückseite des Sensors erfolgt gleichzeitig die Befestigung am Rotorblatt.. Die verwendete Erosionsschutzfolie von 3M (W8607) wird seit mehr als 10 Jahren in der Windkraft zum Schutz der Vorderkante eingesetzt.

Eine Montage ist sowohl werksseitig, auf der Baustelle (vor dem Heben der Blätter) als auch für Bestandsanlagen (Nachrüstung mittels Hebebühne oder Industriekletterern) möglich. Die Montage kann vom Kunden selbst durchgeführt werden. Eine kurze Schulung durch eologix wird empfohlen. Die genauen Montageschritte werden in der Montageanleitung Schritt für Schritt erklärt.



Bild 4 Sensormontage im Retrofit



Bild 5 Montierter Sensor



Bild 6 Montage der Sensoren am Boden

## Anwendungen

Das eologix Eisdetektionssystem ist durch den DNV-GL zertifiziert. Im Zertifikat werden drei Betriebsmodi unterschieden:

- Eisdetektion, d.h. Stoppen der Anlage bei Vereisung
- Automatischer Wiederanlauf, d.h. automatischer Start der Anlage bei Eisfreiheit
- Betrieb unter Eislast, d.h. durch die Eisdickenmessung. Damit kann die Anlage in nicht sicherheitskritischen Gebieten bis zu einem bestimmten Vereisungsgrad weiter betrieben werden.

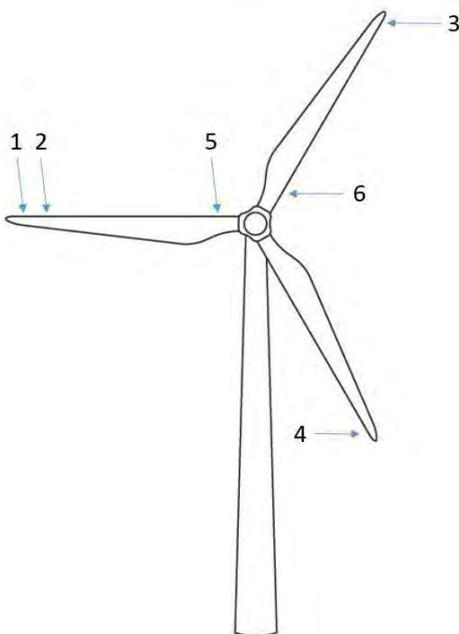
Je nach Betriebsmodus ist eine unterschiedliche Anzahl von Sensoren im Komponentenzertifikat vorgeschrieben. Im Folgenden wird nur auf die ersten beiden Betriebsmodi eingegangen.

Kundenspezifische Abwandlungen (speziell Mehrausstattungen oder individuelle Ausstattungen für besondere Zwecke) der Sensorkonfiguration sind jederzeit möglich.

### Eisdetektion – eologix safe (6 Sensoren)

In diesem Modus wird nach dem Algorithmus gemäß DNV-GL Komponentenzertifikat ein Signal erzeugt, welches der Anlage einen Stopp aufgrund sicherheitsrelevanter Vereisung signalisiert.

Die Positionen der Sensoren sind wie folgend dargestellt:



Toleranz aller Längenangaben:  $\pm 1$  Meter

Alle Sensoren (1-6): Position an der Vorderkante

Sensor Nr. 1 - 4: Entfernung von Wurzel:  $> 90\%$  der Blattlänge

Sensor Nr. 5&6: Entfernung von Wurzel:  $< 10\%$  der Blattlänge

Für eine Systemverfügbarkeit müssen zumindest 2 Sensoren an der Spitze und 1 Sensor an der Wurzel aktiv sein.

Die Anzahl der Sensoren ist nicht von der Blattlänge abhängig.

### Algorithmus Eisdetektion

Das Signal „EIS“ (d.h. Eis wird detektiert und die Anlage muss stehen bleiben) wird ausgegeben, sobald

- ein beliebiger Sensor „Signal Level 5“ oder
- zwei benachbarte Sensoren „Signal Level 4“ oder
- mindestens 66% der Sensoren an der Spitze (d.h.  $> 90\%$  der Blattlänge) „Signal Level 3“ liefern.

## Redundanz Eisdetektion

Gemäß Zertifikat benötigt das System zumindest zwei Sensoren an der Spitze und einen Sensor an der Wurzel um die Funktion „Eisdetektion“ ausführen zu können. Bei einem eologix safe System ist daher jeder Sensor ist durch zumindest einen weiteren Sensor redundant ausgeführt.

## Automatischer Wiederanlauf – eologix restart (Sensoranzahl abhängig von Blattlänge)

Für die Detektion der Eisfreiheit und somit den automatischen Wiederanlauf ist eine höhere Anzahl an Sensoren zu verwenden und diese ist auch abhängig von der Blattlänge. Folgend sind für exemplarische Windkrafthersteller und Blattlängen die nötige Anzahl von Sensoren gemäß Zertifikat angeführt:

| Anlagentyp | Blattlänge | Sensoranzahl |
|------------|------------|--------------|
| X70        | 34 m       | 27           |
| X82        | 39,5 m     | 30           |
| X90        | 43,5 m     | 30           |
| X115       | 56 m       | 30           |
| X117       | 57,2 m     | 33           |
| X136       | 66,5 m     | 33           |
| XXXX       | 73,5 m     | 33           |

Bei einem eologix restart System werden die nötigen Positionen für die Eisdetektion mehrfach abgedeckt. Dadurch ist jedes eologix restart System auch für die Funktion Eisdetektion geeignet.

## Algorithmus Automatischer Wiederanlauf

Sobald ein Sensor „SIGNAL LEVEL 5“ oder ein Sensor „SIGNAL LEVEL 4“ oder zwei benachbarte Sensoren auf einem Blatt „SIGNAL LEVEL 3“ liefern, wird das Signal „AUTOSTART NOT OK“ ausgegeben. Ist dies nicht der Fall, wird das Signal „AUTOSTART OK“ ausgegeben.

## Redundanz Automatischer Wiederanlauf

Die Funktion „Detektion Eisfreiheit“ kann solange fortgeführt werden solange:

- mindestens 66% aller Sensoren der Mindestanforderung aktiv sind,
- mindestens 2 Spitzensensoren (Sensoren an Positionen >90% der Blattlänge) an 2 Blättern aktiv sind,
- pro Blatt zumindest zwei Blattseitensensoren aktiv ist und
- an jeder Vorderkante zumindest alle 30 m ein Sensor aktiv ist.

Sollten nicht alle oben stehenden Bedingungen erfüllt sein, wird immer das Signal „AUTOSTART NOT OK“ ausgegeben. Auch hier ist jeder Sensor zumindest einmal redundant ausgeführt (d.h. jede Sensorposition wird durch zumindest einen weiteren Sensor abgedeckt).

## Basisstation

Die Basisstation empfängt die Messdaten der Sensoren mittels zweier Antennen, wertet diese aus und kann über diverse Schnittstellen an das Kundensystem angeschlossen werden. Die Antennen werden je nach Beschaffenheit der Gondel der Windkraftanlage im Inneren oder im Außenbereich der Gondel montiert.

Bei einer bestehenden Internetverbindung der Basisstation, ist es auch möglich die Messdaten online (auf eigenen eologix Servern in Graz, Österreich) zu speichern und unter [online.eologix.com](http://online.eologix.com) historische Daten mittels Visualisierung darzustellen (vgl. dazu „Benutzer\_Handbuch\_online-eologix.pdf“).

Mögliche Schnittstellen sind:

- 2 x oder 3 x Relais-Output (System-Zustand Ok/Nicht-Ok, Eis Ja/Nein, Restart Ja/Nein)
- ModBus TCP/IP
- CAN
- RS485
- Netzwerkschnittstelle 1 zur Anbindung an das eologix online System
- Netzwerkschnittstelle 2 zur Anbindung an das OEM Steuerungs- oder SCADA-System
- Weitere Schnittstellen sind auf Anfrage möglich

Die Leistungsaufnahme der Basisstation beträgt typischerweise 5 W (maximal 10 W). Weitere Informationen und technische Details werden im Datenblatt zur Basisstation beschrieben.

## Basismontage

Die Basisstation kann flexibel mit vier Klemmverbindung, Schrauben oder Magneten an einem beliebigen Montageort in der Gondel befestigt werden. Die beiden Antennen werden über Koaxialkabel mit der Basisstation verbunden. Die folgenden Bilder zeigen einen möglichen Installationsort sowie mögliche Anschlüsse der Basisstation.



Bild 7 Mögliche Installation



Bild 8 Basisstation Innenansicht

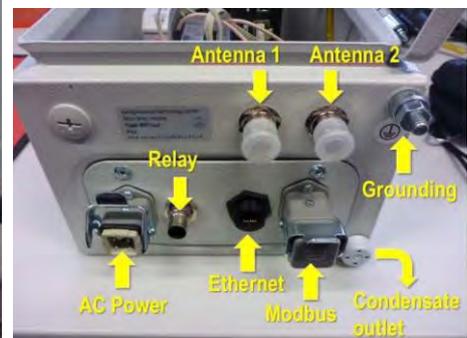


Bild 9 Basisstationsanschlüsse

## Ausfallwahrscheinlichkeitsbetrachtung

Die DNV-GL Zertifizierung erfordert eine Ausfallwahrscheinlichkeitsbetrachtung gemäß ISO 13849:2008. Durch die

- Redundanz der Sensoren und
- Redundanz der Empfangseinheiten (2 getrennte Empfangseinheiten in der Basisstation, 2 Antennen) sowie
- diverse Maßnahmen in der Kontrolleinheit wie z.B.
  - Hardware-Watchdog,
  - Testeinrichtungen gemäß FMEA und
  - Plausibilitätsüberprüfung der Messdaten

konnte gemäß ISO 13849:2008 folgende Eigenschaft nachgewiesen werden:

Performance Level = PLr = d, dies entspricht einer Ausfallwahrscheinlichkeit von  $\geq 10^{-7}$  bis  $< 10^{-6}$ .

EOLOGIX EISERKENNUNGSSYSTEM (BASISSTATION BET214T,  
SENSOR CET214T)

# Zertifizierungsbericht Fertigungsüberwachung

eologix sensor technology gmbh

**Report No.:** CR-IPE-GL-IV-1-00526-3

**Date:** 2018-05-31



Project name: eologix Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) DNV GL Energy Renewables Certification  
Report title: Zertifizierungsbericht Fertigungsüberwachung Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH  
Customer: eologix sensor technology gmbh, Kratkystasse 2, 8020 Graz Brooktorkai 18 20457 Hamburg  
Contact person: Dr. Michael Moser; Dr. Thomas Schlegl Germany  
Date of issue: 2018-05-31 Tel: +49 40 36149-0  
Project No.: 49365 DE 228282604  
Report No.: CR-IPE-GL-IV-1-00526-3-DE

Vertragliche Grundlage für den Bericht:

Proposal for component certification of ice sensing system for wind turbines (170503\_49365\_SFA\_Eologix\_CC\_update) and corresponding acknowledgement of order + 20180424 - SFA163921 eologix report translation EN-DE für die Übersetzung

Objective:

Die Fertigungsüberwachung des Eissensorsystems entsprechend den Anforderungen der Richtlinie: Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH (GL) Rules and Guidelines - IV Industrial Services - Part 1 - Guideline for the Certification of Wind Turbines (GL-IV-1), Edition 2010.

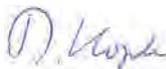
Prepared by:



Digitally signed by  
manuel.gemuend@dnvgl.com  
Date: 2018.06.12 10:24:34  
+02'00'

Manuel Gemuend  
Senior Engineer

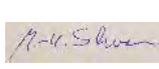
Verified by:



Digitally signed by Kopte, Daniel  
Date: 2018.06.12 07:45:07 +02'00'

Daniel Kopte  
Senior Engineer

Approved by:



Digitally signed by  
Schwarz, Matthias-Klaus  
Date: 2018.06.12 10:33:41  
+02'00'

Dr. Matthias-Klaus Schwarz  
Head of section

Copyright © DNV GL 2014. All rights reserved. This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise without the prior written consent of DNV GL. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS. The content of this publication shall be kept confidential by the customer, unless otherwise agreed in writing. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

DNV GL Distribution:

- Unrestricted distribution (internal and external)  
 Unrestricted distribution within DNV GL  
 Limited distribution within DNV GL after 3 years  
 No distribution (confidential)  
 Secret

Keywords:

| Rev. No. | Date       | Reason for Issue                      | Prepared by                | Verified by            | Approved by                |
|----------|------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| 0        | 2015-09-22 | First issue                           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz | Reinhard Schleeßelmann | Andreas Kamleitner         |
| 1        | 2015-10-15 | Minimum of required sensors clarified | Dr. Matthias-Klaus Schwarz | Reinhard Schleeßelmann | Andreas Kamleitner         |
| 2        | 2018-02-15 | Update                                | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz |
| 3        | 2018-03-26 | Editorial update                      | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz |
| 3-DE     | 2018-05-31 | Translation of EN revision 3 to DE    | Manuel Gemuend             | Daniel Kopte           | Dr. Matthias-Klaus Schwarz |



## Table of contents

|            |  |   |
|------------|--|---|
| 1          | EXECUTIVE SUMMARY .....  | 1 |
| 2          | CERTIFICATION SCHEME .....                                     | 1 |
| 3          | LIST OF REPORTS .....  | 1 |
| 4          | CONDITIONS .....   | 1 |
| 5          | OUTSTANDING ISSUES .....                                       | 1 |
| 6          | SUMMARY AND CONCLUSIONS .....                                  | 1 |
| Appendix A | Ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t) – IPE |   |
| Appendix B | Letter of pre-certification review - testing of sensor system  |   |

## 1 EXECUTIVE SUMMARY

Dieser Bericht ist die Übersetzung des englischsprachigen Originals mit der Zertifikatsnummer CR-IPE-GL-IV-1-00526-3.

Die Fertigungsüberwachung (inclusive der Inspektion des Herstellungsprozesses und der Wareneingangskontrolle) des Eiserkennungssystems (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) entsprechend der Anforderungen der GL-IV-1:2010, Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen wurde am Standort

Kratkystraße 2  
8010 Graz  
Austria

erfolgreich durchgeführt. Die Herstellungsprozesse sowie die Systemdokumentation wurden überprüft.

Es liegt ein ISO 9001 Zertifikat (Registernummer: 20100151450223) vor, welches die Entwicklung und Herstellung abdeckt.

Systemtests wurden erfolgreich begleitet. Details hierzu finden sich im Anhang B "Letter of pre-certification review - testing".

## 2 CERTIFICATION SCHEME

| Document No. | Title   |
|--------------|---|
| GL-IV-1:2010 | Guidelines for the Certification of Wind Turbines |

## 3 LIST OF REPORTS

Die Anhänge dieses Berichts enthalten detaillierte DNVGL Berichte welche auf Standards und Dokumente referenzieren und eine Liste der Design-Dokumente sowie eine abschliessende Zusammenfassung der DNVGL Prüfung beinhalten.

| APPENDIX | Revision | Subject  |
|----------|----------|--|
| A        | 0        | Ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t) – IPE |
| B        | 0        | Letter of pre-certification review - testing                   |

## 4 CONDITIONS

Es wurden keine Bedingungen bezeichnet.

## 5 OUTSTANDING ISSUES

Es wurden keine offenen Punkte bezeichnet.

## 6 SUMMARY AND CONCLUSIONS

Die Anforderungen der ISO 09001 sind erfüllt. Das Zertifikat ist Gültig bis 2019-09-06.



Alle Fertigungsschritte, inklusive der Wareneingangs und -ausgangs Kontrolle wurde im Rahmen der Vor-Ort-Begehung abgenommen und für angemessen befunden.

#### Begutachtete Prozesse

- Wareneingang
- Lenkung fehlerhafter Teile (Sensor)
- Montage der PV-Zelle
- Softwarebasierter Sensortest
- Zwischenlagerung der Sensoren
- Aufspielen der Software und Verriegelung des IC
- Sensorverguss und Anbringen der "Windshield"-Folie
- Zwischenlagerungsbedingungen
- Finaler Test und Versandbearbeitung (Verpackung)
- Simulierter Zusammenbau der Basisstation
- Test und Versandbearbeitung (Packaging)

Die Arbeitssicherheitsaspekte wurden abgedeckt (PSA ist verfügbar; Laboreinrichtungen gut organisiert).

Die Qualifikation des Personals ist gut (überqualifiziert für einzelne Arbeitsschritte). Aktuell arbeiten nur die Gründer an den Sensoren und Basistationen. Die Mitarbeiterqualifikation soll bei zukünftigen Zertifikatserneuerungen überprüft werden.

Alle Anforderungen in Bezug auf das Modul IPE der GL-IV-1:2010, Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen, sind erfüllt.

## APPENDIX A

### Ice sensor system (base station BET214t, sensor CET214t) – IPE

#### Assessment of the eologix ice detection system

Applied codes and standards:

| Document No.  | Revision | Title  |
|---------------|----------|--|
| GL-IV-1       | 2010     | Guideline for the Certification of Wind Turbines |
| DNVGL-SE-0439 | 2016-06  | Certification of condition monitoring            |
| DNVGL-RP-0175 | 2017-12  | Icing of wind turbines                           |

#### Documentation from customer

List of reports

| Document No.               | Revision | Title   |
|----------------------------|----------|---|
| CS-CC-GL-IV-1-00526-0_A119 | Rev 3    | Control and protection system requirements for the Component "Ice sensor" |

List of documents taken for information only:

| Document No.           | Revision   | Title   |
|------------------------|------------|---|
| Document No.           | Revision   | Title   |
| Doc no.09              | Rev. V1.3  | Ausfallswahrscheinlichkeitsbetrachtung_dbRelais, ,                            |
| So-0007                | Rev. 1.0   | Testszzenarien, ,   |
| So-0003                | Rev. 1.0   | Definition Steuerungsarchitektur  |
| 01100045170            | Rev. 0     | LFG Leiterplatten Feinmechanik und Geräte ISO 9001 Zertifikat                 |
| So-0001                | Rev. 1.0   | Softwaredokumentation - Anforderungen   |
| SO-7006.2              | Rev. V1.1  | Sicherheitsbezogene_Spezifikation   |
| 06                     | Rev. 1.1   | eologix_FMEA, Doc no.FMEA/systemelement: Sensing unit                         |
| 7006.7                 | Rev. V1.2  | Testszzenarien  |
| So-0005                | Rev. 1.0   | Funktionsblockbeschreibung  |
| SO_7006.2              | Rev. V1.2  | Definition_Steuerungsarchitektur  |
| PB-7001                | Rev. 1.0   | Prozessbeschreibung: sensor   |
| So-0004                | Rev. 1.0   | Softwarebeschreibung  |
| So-0006                | Rev. 1.0   | Kommentierung des Codes   |
| SO_7006.4              | Rev. V1.2  | Softwarebeschreibung  |
| ILB-P-15.02.1-20150519 | Rev. 1.0   | Pruefbericht: Dauerfestigkeitsversuch Integrated Blade sensor CET214n/CET214t |
| 20369-01               | Rev. V4_0  | 02_Blitz_20369-01 V4_0 Eologix Test Report                                    |
| 201503018_EMC_E        | Rev. 1.2   | EMC Testreport EN301489-3 IMMUNITY Device under test Base Station             |
| N301489_Immunit        |            | BET214n Ice sensor CET214t  |
| y_2                    |            |   |
| 8600                   | 1.1        | PROZESS - Software  |
| 8601                   | 1.1        | RICHTLINIE - Softwaredokumentation Anforderungen                              |
| 8602                   | 2.0        | RICHTLINIE - Sicherheitsbezogene Spezifikation                                |
| 8603                   | 2016-08-10 | RICHTLINIE - Definition Steuerungsarchitektur                                 |

| Document No.                                      | Revision       | Title  |
|---|----------------|--|
| 8604  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Softwarebeschreibung  |
| 8605  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Funktionsblockmodellierung  |
| 8606  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Kommentierungn Code   |
| 8607  | 2016-08-10     | RICHTLINIE - Testszenarien   |
| AD7143  | 0              | Programmable Controller for Capacitance Touch Sensors                                    |
| AD7143  | A              | Programmable Controller for Capacitance Touch Sensors                                    |
| Technical Data                                    | September 2016 | 3M™ Wind Protection Tape 2.0 Application Instructions<br>W8750                           |
| Technical Data                                    | Mai 2016       | 3M™ Wind Blade Protection Tape<br>W8607, Colorless                                       |
| 20170801_comp_3<br>M_tapes                        | V1_0           | Comparison of 3M Erosion Protection Tapes (W8750 vs 8607)                                |
| Video file  | -              | mixed_W8607_old_tape   |
| Video file  | -              | mixed_W8750_new_tape   |
| Video file  | -              | rime_W8607_old_tape  |
| Video file  | -              | rime_W8750_new_tape  |
| 20170810_verguss_<br>vergleichsbetrachtu<br>ng    | V1_0           | Vergleichsbetrachtung Elektronik-Verguss   |
| LP1429 10 D-0                                     | 0              | Vorläufiges technisches Merkblatt Dickschichtlack ELPEGUARD® Twin-<br>Cure® DSL 1707 FLZ |
| Technical Data<br>Sheet ACC15                     | 27/12/2014     | ACC15<br>Silicone Conformal Coating  |
| 20170815_basisstati<br>on_anschluesse             | V2_0           | Änderung Basisstation Anschlusskontakte  |
| 20170809_solarcell_<br>comparison                 | V1_0           | Comparison of solar cell conduction  |
| Eologix EB3-25                                    | C              | Eologix EB3-25 Solar panel solder dots   |
| 8602  | V2_0           | Sicherheitsbezogene Spezifikation Nr. 8602   |
| 20170810_batteriee<br>n_vergleichsbetrach<br>tung | V1_0           | Vergleichsbetrachtung Energiespeicherzelle   |
| 20170810_batteriee<br>n_vergleichsbetrach<br>tung | V1_0           | CELL Type ML614 Specifications   |
| 20170926_software<br>_aenderungen                 | V1_0           | Software Änderungen  |
| eologixTurbinelnterf<br>aceSpec                   | R17.8          | eologix BET 214n Turbine Interface Specification   |
| 20170522_Montage<br>positionenSensoren            | V1_0           | Montagepositionen für Sensoren   |
| 20100151450223                                    | -              | Zertifikat für das Managementsystem nach EN ISO 9001:2015                                |
| BET214t   | 1.9            | Base Station for eologix Wireless Sensors Data Sheet                                     |
| CET214t   | 1.6            | Wireless Ice and Temperature Sensor for Rotor Blades Data Sheet                          |

## Description of verified component, system or item

Das Design des Eiserkennungssystems (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) wurde erfolgreich geprüft und dokumentiert in dem Bericht CR-DA-GL-IV-1-00526-0. Eine detaillierte Systembeschreibung findet sich in dem Bericht CR-DA-GL-IV-1-00526-0.

Das Eiserkennungssystem besteht aus seiner Steuerung (Basisstation) und mindestens 3 Sensoren. Die Messung erfolgt durch eine hochfrequenzabtastung unter Ausnutzung der unterschiedlichen Permittivität von Wasser und Eis. Jeder Sensor wird über eine Solarzelle und ein Batteriepaket autark mit Energie



versorgt. Die Sensoren werden vergossen und mittels "3M Windshield Tape" auf das Rotorblatt aufgeklebt. Das Sensorsignal wird 1/Minute per Funk an die Basisstation gesendet.

Die Basisstation empfängt das Funksignal mittels 2 redundanter Antennen. Die Sensorsignale werden nur dann durch die Steuerung genutzt, wenn von beiden Antennen identische Werte empfangen wurden.

Die Steuerung überwacht die Sensorsignale (Eisfrei; Wasser/Schmutz, Eis) und die Verfügbarkeit der Sensoren. Sollten zu wenig Sensoren für einen bestimmten Anwendungsfall verfügbar sein, oder die Steuerung selber einen Fehler haben, wird das „System ok“ Signal deaktiviert. Das „System ok“ Signal und das „Eis / Eisfrei“ Signal werden über potentialfreie Kontakte an die Steuerung der Windenergieanlage übergeben. Die Signale können in eine Sicherheitskette eingebunden werden. Darüber hinaus ist es möglich, die Basisstation mittels BUS an die Windenergieanlagensteuerung oder ein SCADA System anzuschliessen.

## Conditions to be considered in other certification modules

Im Rahmen der Fertigungsüberwachung wurden keine Auflagen benannt..

## Outstanding issues

Es wurden keine offenen Punkte bezeichnet.

## Summary and Conclusions

Das Eiserkennungssystem (Basisstation BET214t, Sensor CET214t) wie in den in Abschnitt 3 benannten Dokumenten beschrieben, erfüllt die Anforderungen der in Abschnitt 2 genannten Richtlinie. Darüber hinaus werden die relevanten Anforderung der DNVGL-SE-0439 (CMS) und der DNVGL-RP-0175 (Icing of wind turbines) erfüllt.

## APPENDIX B

### Letter of pre-certification review - testing of sensor system

DNV·GL

Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH • Brooktorkai 18 • 20457 Hamburg • Germany

eologix sensor technology gmbh  
Herrn Dr. Moser  
Plüddemanngasse 39/II  
8010 Graz  
Österreich

E-Mail in advance:

michael.moser  
@eologix.com

thomas.schlegl  
@eologix.com

matthias.klaus.schwarz  
@dnvgl.com

manuel.germiend  
@dnvgl.com

DNV GL - Energy  
Renewables Certification  
Brooktorkai 18  
20457 Hamburg  
Germany  
Tel: +49 40 36149-0  
Fax: +49 40 36149-1720

[renewablescertification.energy@dnvgl.com](mailto:renewablescertification.energy@dnvgl.com)  
[www.dnvgl.com/energy](http://www.dnvgl.com/energy)

| Your reference  | Your letter of | Our reference | Extension | Date       |
|-----------------|----------------|---------------|-----------|------------|
| 46008/MANGEM-II |                |               | 4066      | 2015-03-26 |

**Letter of pre-certification review**  
**Component Certification Services for an ice sensing system for wind turbines**  
**Contract number: 4800/14/46008/256**

Dear Dr Moser

Eologix introduced a sensor measuring the thickness of ice above a sensor plate based on electric impedance. In this letter we summarize the reviewed points and the way forward to gain a component certificate. It was scope of the assessment to identify if the current stage of the project is going to be certifiable. This letter is meant to document the assessment already undertaken and give a clear foundation for a certification in the future.

#### Conclusion:

In general the system is able to provide qualified information for the 3 most important functions an ice sensor is used for:

- 1) Reducing loads / operation with ice on the blades by identification and thickness measurement of ice on the blades so that the turbine can be operated with an ice thickness up to an defined value if this is allowed by local site conditions.
- 2) Mitigate the risk of ice throwing by early identification of ice (<1mm) on the blades. The turbine can be operated during icing atmosphere and stopped when the safety limit is reached.
- 3) An automatic restart of wind turbines under special conditions is possible, as the ice sensor is able to measure thickness over time and can detect the "ice free" situation on a specific point of the blade. For this function several sensors will be required, to ensure that all blades are completely ice free.

Managing Directors: Dr. Kim Mørk • Tobias Rosenbaum

Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Registered Office Hamburg No. HR B 86804

Place of performance and jurisdiction is Hamburg. The latest edition of the General Terms and Conditions of Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH is applicable. German law applies.

**Remarks from review:**

- i) The sensor was tested on a cold climate test bench at FH Joanneum which is normally used for aircraft tests. During the test it was shown that:
  - a. The sensor can detect different kinds of ice (harsh, glaze, mixed), all far below 1mm thickness.
  - b. The sensor can detect rain.
  - c. The sensor shows an accurate temperature value.
  - d. The sensor is able to identify other substances, including coverage of the solar cells.
- ii) The ambient temperature range from -40 to +60°C including aging tests of the batteries are documented.
- iii) The lightning protection could be shown for up to 170 kA.
- iv) The application of sensors and installation of the controller unit is clearly described.
- v) The life time of the sensors is up to 10 years, limited by batteries, however an earlier exchange is expected, as the Windtape has to be replaced after several years and the removal may damage the sensor. Installation and exchange of sensors are described in detail.
- vi) The installation on heating and other de-icing equipment may damage the sensor or reduce the sensors lifetime. This is to be investigated project specific or evaluated by field experience.
- vii) Sensors will perform a self-test and reboot in case of an error. The controller unit will recognize false or missing sensor signals and declare the sensor as "lost".

**The following remarks and conditions shall be taken into account for component certification of the system:**

- a) The minimal amount and position of sensors necessary to support the functions listed as 1), 2) and 3) shall be defined
- b) All documents shall be clearly identifiable (name, number, release status, release date, revision, page/pages)
- c) The damage free installation on different blade types / coatings shall be ensured. In general the application is possible where 3M Windtape W8607 can be applied.
- d) The software version and a handling of different software versions in control unit and sensors on one turbine shall be specified. Software updates are not yet planned.
- e) The sensor component shall be tested on an vibration test bench
- f) The lightning protection test shall be redone with minimum 200 kA according to IEC 61400-24.
- g) The maximal distance between sensor and controller unit shall be verified in field
- h) If the sensor shall be used in the turbine safety and protection functions (cases 1), 2) and 3)) a performance level shall be defined by the manufacturer. To verify the performance level according ISO 13849-1, a calculation, based on all sub components, including their data sheets, shall be

**Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH**

**Page 3**

**of letter to:**

eologix sensor technology g.

**Date:** 2015-03-26

**Our ref.:** 46008/MANGEM

submitted by the manufacturer. This can be reduced to the controller unit, when missing or damaged sensors are detected.

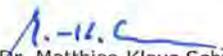
- i) The maximum amount of Windtape layers over the sensor is to be specified.
- j) The ice detection system is to be defined as a complete system with base station and any amount of sensors. Alternative the base station and the sensors are to be defined in separate data sheets plus additional information on combined functionality.

**Documents taken into account:**

- /1/ Hochspannungstest.pdf, 6 pages, received 2014-11-17
- /2/ Stromstoßtests.pdf, 9 pages, received 2014-11-17
- /3/ Vereisungswindkanal.pdf, 9 pages, received 2014-11-17
- /4/ Simulationen\_Sensor.pdf, 19 pages, received 2014-11-17
- /5/ Mounting\_Instructions\_BaseStation\_V11.pdf, Version 1.1, 2 pages, dated 2014-10-31
- /6/ sensors\_mounting\_instructions\_V13.pdf, Version 1.4, 4 pages, received 2014-11-17
- /7/ 20150219\_Ausfallswahrscheinlichkeitsbetrachtung\_Rev1.pdf, Version 1.0, 2 pages, dated 2015-02-19
- /8/ 20150218\_ErlaeuterungAuswertealgorithmus\_Rev1.pdf, Version 1.0, 2 pages, dated 2015-02-17
- /9/ 20150112\_messprinzip\_beschreibung\_V1.pdf, Version 1.0, 2 pages, dated 2015-01-12
- /10/ 20150112\_messprinzip\_beschreibung\_rev1.pdf, Version 1.0 confidential, dated 2015-01-12
- /11/ CET214\_rev11.pdf, "Wireless Ice and Temperature Sensor for Rotor Blades, Preliminary Data Sheet", Rev. 1.1,
- /12/ 20141212\_eologixMeasReport.pdf, Version 1.0, 7 pages, test date 2014-12-12
- /13/ multiple Videos GOPRO070.mp4 to GOPRO030075.mp4 documenting the test situation on 2014-12-12
- /14/ multiple Fotos DSCN3405.JPG to DSCN3537.JPG documenting the test situation on 2014-12-12

Yours faithfully,

for Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH

  
i. A. Dr. Matthias-Klaus Schwarz  
Head of Section Electrical Systems

  
i. A. Dirk Maxion  
Senior Engineer Safety Systems

Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH



## About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil & gas and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Ludwig-Eckert-Str. 8  
93049 Regensburg  
Deutschland  
z.H. Frau Michaela Stark

Datum  
Wien, 6. März 2018/SEYAS

## **Anbindung von Signalen zur Eisdetektion an Vestas Windenergieanlagen – WP Brunn/Wild**

Sehr geehrte Damen und Herren

Mit diesem Schreiben möchten wir Ihnen die Möglichkeit zur Anbindung der Signale von Eologix an Vestas Windenergieanlagen erläutern.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, Signale von Drittanbietern an das Vestas SCADA System anzubinden und zu verarbeiten. Eologix schickt das Signal bei Eisfreiheit der Blätter das Signal „**kein Eis**“. Bei Eisbildung an den Blättern schickt das Eologix System das Signal „**Eis**“. In diesem Fall bzw. im Falle eines Drahtbruchs wird die Anlage über das Vestas SCADA System abgeschaltet.

Falls das Eologix System das Signal „**System nicht OK**“ schickt oder die Verbindung zwischen dem SCADA System und der Windenergieanlage nicht gegeben ist, wird die Windenergieanlage ebenfalls abgeschaltet.

Weiters besteht die Möglichkeit, beim Signal „**Restart OK**“ die Windenergieanlage über das SCADA System wieder einzuschalten.

Wir hoffen mit unseren Ausführungen die Systematik der Einbindung der Eologix Signale hinreichend erläutert zu haben. Sollten noch Fragen auftauchen, so können Sie sich natürlich jederzeit an uns wenden.

Mit freundlichen Grüßen  
Vestas Deutschland GmbH



Selman Yasar  
Technical Bid Specialist  
Business Unit Power Solutions  
Vestas Deutschland GmbH