Industrie Service

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.

Unabhängige Analyse

für den Standort

Datum: 10.09.2015
Revision: 13

Unsere Zeichen:
IS-FSW-RGB/KM

STRAUBENHARDT (BADEN-WÜRTTEMBERG)

Das Dokument besteht aus 63 Seiten.
Seite 1 von 63

Bericht Nr.: MS-1309-173-BW-de

Revision 13

Datum: 10.09.2015

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.

Unabhängige Analyse von Eisfall

Industrie Service

Auftraggeber:	**Wirsol Windpark Straubenhardt GmbH & Co. KG** Schwetzinger Straße 22-26 D-68753 Waghäusel
Auftragnehmer:	**TÜV SÜD Industrie Service GmbH** **Abteilung Wind Cert Services** Ludwig-Eckert-Str. 8 D-93049 Regensburg
Angebot Nr.:	**AN-WG-1506-243-BW REV.1**
Berichtart:	**Unabhängige Analyse von Eisfall**
Standortbezeichnung:	**Straubenhardt**
Land:	**Baden-Württemberg, Deutschland**
Bericht Nr.:	**MS-1309-173-BW-de**
Revision:	**13**
Ausstellungsdatum:	**10.09.2015**
Status:	**Endbericht**
Vertraulichkeitsstufe:	☐ A ☐ B ☒ C
Verteiler:	2 x Auftraggeber 1 x Auftragnehmer

Bericht verfasst von:

i.V. D. Pfäs

Dipl.-Met. Michaela Stark
(Abteilung Wind Cert Services)

Bericht geprüft von:

Dipl.-Met. Katja Hofer
(Abteilung Wind Cert Services)

Industrie Service

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.

Industrie Service

Ausgehändigte Berichte

Revision	Datum	Titel des Berichts
o. Nr.	23.09.2013	Unterlagenanforderung
o. Nr.	07.10.2013	Agenda der Standortbesichtigung
o. Nr.	14.10.2013	Protokoll der Standortbesichtigung
00	06.11.2013	Unabhängiges Windgutachten
01	15.01.2014	Unabhängiges Windgutachten
02	02.10.2014	Schallgutachten
03	19.09.2014	Addendum Windgutachten
04	23.09.2014	60%-Referenzertrag-Nachweis
05	14.10.2014	Gutachterliche Stellungnahme
06	10.10.2014	Prüfung der Standorteignung
07	07.10.2014	Schattenwurfgutachten
08	05.12.2014	Gutachterliche Stellungnahme zur Eiserkennung
09	09.12.2014	Prüfung der Standorteignung mit Lastberechnung des Herstellers
10	19.12.2014	Addendum Windgutachten und Abschätzung von Ertragsverlusten
11	30.03.2015	Aktualisierung des Windgutachtens
13	10.09.2015	Unabhängige Eisfallanalyse
14	10.09.2015	Unabhängige Risikoanalyse zum Eisfall

Änderungsrevision

Revision	Datum	Zusammenfassung der Änderungen
00	06.11.2013	Vollständiger Endbericht
01	15.01.2014	Vollständiger Endbericht nach 12 Monaten Messung
02	02.10.2014	Vollständiger Endbericht
03	19.09.2014	Änderung Windparklayout, Änderung Konfigurationen, Änderung Schallreduzierung
04	23.09.2014	Nachweis des 60%-Referenzertrages
05	14.10.2014	Zusammenfassung der Messung in Straubenhardt
06	10.10.2014	Vollständiger Endbericht
07	07.10.2014	Vollständiger Endbericht
08	05.12.2014	Gutachterliche Stellungnahme zur Eiserkennung, Vermeidung von Eiswurf
09	09.12.2014	Vollständiger Endbericht; Änderung im Vergleich zu Rev. 06: Einbindung der Ergebnisse der Lastberechnung des Anlagenherstellers
10	19.12.2014	Nachberechnung des Ertragsgutachtens für eine weitere Konfiguration und Abschätzung der Ertragsverluste aufgrund von Betriebseinschränkungen hinsichtlich Fledermaus und Schattenwurf
11	30.03.2015	Vollständiger Endbericht; Zusammenfassung der Ergebnisse aus Rev. 01 + 03 + 10
13	10.09.2015	Vollständiger Endbericht
14	10.09.2015	Vollständiger Endbericht

Industrie Service

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.

Festlegung der Vertraulichkeitsstufe

Auftraggeber	Wirsol Windpark Straubenhardt GmbH & Co. KG
Firmenanschrift; Name	Schwetzinger Straße 22-26
	D-68753 Waghäusel
	Herr Simon Schunter
Vertraulichkeitsstufe (A-C)	C
Verteiler	1 x Auftragnehmer
	2 x Auftraggeber

Industrie Service

Inhalt

0 Einleitung 7
1 Zusammenfassung der Ergebnisse 8
2 Eiswurf und Eisfall bei Windenergieanlagen 13
2.1 Theoretische Berechnungsgrundlagen von Eiswurf bzw. Eisfall 15
2.2 Annahmen für die Berechnungen 16
2.3 Berechnete Szenarien 17
3 Eingangsdaten für die Berechnungen 18
3.1 Tabellarische und graphische Darstellung der Windparkkoordinaten 18
3.2 Untersuchungsobjekte am Standort 20
3.3 Anlagenspezifische Eingangsdaten 26
3.3.1 Beschreibung des Eiserkennungssystems 27
3.3.2 Zertifizierung des Eiserkennungssystems 27
4 Meteorologische Eingangsdaten 28
4.1 Standortspezifische Windmessdaten 28
4.2 Generierte Windstatistik für die Eisfallberechnungen 28
5 Berechnungsergebnisse für Eisfall bei Trudelbetrieb 30
5.1 Graphische Darstellung der Ergebnisse 30
5.2 Übertragung der Ergebnisse auf die geplanten Standorte 31
5.3 Bewertung der Ergebnisse 55
6 Hinweise zur Erstellung der Analyse 60
7 Literaturverzeichnis 61
8 Anhang 63
8.1 Abkürzungsverzeichnis 63

Industrie Service

0 Einleitung

Dieser hier vorliegende Bericht beruht auf dem Angebot Nr. AN-WG-1506-243-BW REV.1 vom 30.06.2015 [3]. Der Auftraggeber hat dieses am 01.07.2015 schriftlich beauftragt [4]. Es wurden folgende Positionen des Angebotes beauftragt:

- Pos. MS-500: Eisfallberechnung Trudelbetrieb
- Pos. MS-501: Eisfallberechnung für zusätzliche WEA im Park
- Pos. MS-510: Risikoanalyse
- Pos. MS-511: Risikoanalyse für zusätzliche WEA im Park

Der geplante Windpark trägt den Projektnamen Straubenhardt. Die grobe Lokalisierung kann durch die Gemeinde Straubenhardt und den Ortsteil Dennach der Stadt Neuenbürg im Enzkreis in Baden-Württemberg 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 VII: 11 x Siemens SWT-3.0-113 mit 3.0 MW Leistung, 142.5 m Nabenhöhe und einem Rotordurchmesser von 113 m.

Innerhalb dieser Analyse wurden die oben aufgeführten, beauftragten Positionen MS-500 und MS-501 bearbeitet. Dabei wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Prüfung der gemäß der Richtlinie für Windenergieanlagen – Liste der technischen Baubestimmungen, Ziffer 3.3 der Anlage 2.7/12 [17] geforderten Unterlagen zur Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems für den geplanten Anlagentyp auf Vollständigkeit auf Basis der vom Anlagenhersteller 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 sowie der Windverhältnisse am Standort.
- Bewertung der in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte verlaufenden Straßen und Wege und anderer Objekte hinsichtlich ihrer Lage im ermittelten Gefährdungsbereich.

Dieser hier vorliegende Bericht wurde von TÜV SÜD IS erstellt, um mögliche Eisfallgefährdungen durch den geplanten Windpark zu ermitteln.

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 Straubenhardt 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 11 Anlagen des Typs Siemens SWT-3.0-113 mit einer Nennleistung von 3.0 MW, einer Nabenhöhe von 142.5 m und einem Rotordurchmesser von 113 m mitgeteilt [5].

Die gemäß der Richtlinie für Windenergieanlagen – Liste der technischen Baubestimmungen, Ziffer 3.3 der Anlage 2.7/12 [17] geforderten Unterlagen zur Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems liegen für den geplanten WEA-Typ vor (siehe hierzu Abschnitt 3.3). Demnach kann der Eiswurf durch eine sich in Betrieb befindliche Anlage des geplanten Typs ausgeschlossen werden.

Die geplanten Anlagenstandorte befinden sich in einem ausgedehnten Waldgebiet und sind von einem Wald- und Forstwegsystem umgeben. Nach den verfügbaren Informationen [20] stellt einer der betrachteten Waldwege auch einen Abschnitt des ausgewiesenen Fernwanderweges *Westweg* dar. Außerdem durchquert die Kreisstraße K4551 den Windpark und teilt ihn in einen nördlichen bzw. südlichen Teilbereich, die in der nachfolgenden Analyse zur besseren Übersicht jeweils in separaten Abbildungen dargestellt werden. Desweiteren verläuft südlich des geplanten Standortes die Landesstraße L339. Zusätzlich wurden südlich der WEA 10 zwei Gebäude als Untersuchungsobjekte betrachtet, diese stellen einen Hochbehälter der Wasserversorgung bzw. eine Hütte zur forstbetrieblichen Lagerung dar [21][22]. Nähere Angaben zu der Lage sowie den jeweiligen Entfernungen zwischen diesen Objekten und den geplanten Anlagen sind im Abschnitt 3.2 zu finden.

Für die Berechnungen wurde eine Windstatistik herangezogen, die auf Basis des durch den TÜV SÜD IS erstellten Windgutachtens [6] aus standortspezifischen Windmessdaten für einen repräsentativen Referenzpunkt im Windpark und die geplante Nabenhöhe erzeugt wurde.

Die der Windstatistik zugrunde liegenden meteorologischen Eingangsdaten stammen von einer Windmessung im geplanten Windpark, wobei der Standort der Windmessung im Rahmen von [6] für die Standorte der geplanten Anlagen als repräsentativ bewertet wurde. Zur Verwendung der aus den Messdaten gewonnenen Informationen für die Bestimmung der langjährigen Windverhältnisse am Standort sowie die Modellierung des Windfeldes an den einzelnen WEA-Standorten mit einer Extrapolation auf die geplante Nabenhöhe wurden im Windgutachten Unsicherheiten vergeben. Die Windstatistik wurde für die Eisfallberechnungen mit einem Unsicherheitszuschlag versehen, dem die Unsicherheiten des Windgutachtens hinsichtlich der meteorologischen Eingangsdaten sowie der Windfeldmodellierung zugrunde liegen. 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 4 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 mit einer südwestlichen Hauptwindrichtung sowie die durch die entsprechende Ausrichtung der Anlage erfolgte, zur jeweiligen Windrichtung rechtwinklige Abwurfrichtung von der trudelnden Anlage wieder.

Industrie Service

Die nachfolgenden Tabellen 1 bis 11 zeigen eine Zusammenfassung der Simulationsergebnisse hinsichtlich der Bewertung der am geplanten Standort befindlichen Untersuchungsobjekte. Die Zuordnung dieser Objekte ist aus Abschnitt 3.2 zu entnehmen. Die graphische Darstellung der Ergebnisse sowie die Diskussion dieser sind in Abschnitt 5 zu finden.

WEA 1

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
Y	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AA	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AE	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AF	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AG	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AH	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AI	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AJ	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AK	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar

Tabelle 1: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 1 im Windpark Straubenhardt.

WEA 2

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
Y	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
Z	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AA	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AB	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AC	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AD	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AE	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar

Tabelle 2: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 2 im Windpark Straubenhardt.

Industrie Service

WEA 3

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
B	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
C	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
D	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
E	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
F	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
G	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
H	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
I	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
J	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
K	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
R	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
V	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
X	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 3: **Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 3 im Windpark Straubenhardt.**

WEA 5

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
B	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
R	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
T	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
U	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
V	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
W	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
X	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 4: **Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 5 im Windpark Straubenhardt.**

WEA 6

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
B	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
Q	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
R	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
S	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
T	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
U	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen

Tabelle 5: **Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 6 im Windpark Straubenhardt.**

Industrie Service

WEA 10

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AL	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AM	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AN	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AO	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AP	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AQ	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering
AR	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AS	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BF	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BG	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 6: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 10 im Windpark Straubenhardt.

WEA 11

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AF	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AK	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AN	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AO	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AQ	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AS	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar

Tabelle 7: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 11 im Windpark Straubenhardt.

WEA 12

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AK	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AN	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AO	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AT	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AU	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AV	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AW	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
BA	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 8: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 12 im Windpark Straubenhardt.

Industrie Service

WEA 13

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AV	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AW	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AZ	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BA	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BB	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
BC	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
BD	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BE	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen

Tabelle 9: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 13 im Windpark Straubenhardt.

WEA 14

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AZ	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
BA	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BB	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
BH	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
BI	Abschnitt nahe des Rotorradius, hohe Treff.häufigk.	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BJ	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BK	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 10: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 14 im Windpark Straubenhardt.

WEA 15

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AI	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AJ	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AK	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AO	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AT	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AW	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AX	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AY	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 11: Zusammenfassung zur Bewertung der Untersuchungsobjekte am Standort der geplanten WEA 15 im Windpark Straubenhardt.

Die Kreisstraße K4551 (A) verläuft deutlich außerhalb des berechneten Eisfallbereichs der untersuchten Anlagen. Die potenzielle Gefährdung durch Eisfall ausgehend von dem geplanten Windpark Straubenhardt kann somit als vernachlässigbar eingestuft werden.

2 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 [12].

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 fünf bekannte Möglichkeiten zur Erkennung von Eisansatz an einer Windkraftanlage:

- Eisdetektoren auf der Gondeloberseite: Speziell angebrachte Sensoren beobachten die Umgebungsbedingungen sehr genau. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass die meteorologischen Bedingungen auf der Gondel von denjenigen Bedingungen abweichen können, denen das Rotorblatt während der vollständigen Umdrehung ausgesetzt ist (z.B. durch tiefhängende Wolkenschichten).
- 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 zur Erkennung von Eisansatz verwendet. Ein Vorteil dieses Systems ist, dass die Massenzunahme und dadurch die Änderung der Eigenschwingung auch bei Stillstand der Anlagen erkannt werden. Zudem kann die Eisfreiheit der Anlage nach dem gleichen Prinzip zeitnah festgestellt werden.
- 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. Es ist jedoch ebenfalls zu beachten, dass die meteorologischen Bedingungen auf der Gondeloberseite und in den durch die Rotorblätter durchstreiften Höhen voneinander abweichen können.

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.

Gemäß der Richtlinie für Windenergieanlagen – Liste der technischen Baubestimmungen, Ziffer 3.3 der Anlage 2.7/12 [17] 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 zur Verfügung gestellt [23][24][25], somit liegt dieser Nachweis für den hier geplanten Anlagentyp vor. Weitere Angaben hierzu werden in Abschnitt 3.3 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 [7][8][9][10] 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.

2.1 Theoretische Berechnungsgrundlagen von Eiswurf bzw. Eisfall

In einer Untersuchung im Rahmen des WECO-Projektes im Schweizer Hochgebirge [12] 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 einsetze, 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 [14]. 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 m²)
- Dichte der Eisstücke ρ_{Eis} in kg/m³ 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 (θ in rad) sowie den Azimuthwinkel der Rotorfläche (φ 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 ρ in kg/m³.

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:

$$M\ddot{x} = -\frac{1}{2}\,\rho\, C_D\, A\,(\dot{x} - U)\, W \qquad [2.1]$$

$$M\ddot{y} = -\frac{1}{2}\,\rho\, C_D\, A\,\dot{y}\, W \qquad [2.2]$$

$$M\ddot{z} = -Mg - \frac{1}{2}\rho\, C_D\, A\,\dot{z}\, W \qquad [2.3]$$

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 Umdrehungsgeschwindigkeit 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.

2.2 Annahmen für die Berechnungen

Für die nachfolgenden 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 Eingangsparameter für die Umdrehungszahl im Trudelbetrieb wurde die vom Anlagenhersteller mitgeteilte maximale Umdrehungszahl von 3.11 U/min verwendet [26].
- 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.

2.3 Berechnete Szenarien

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

A) Eisstück aus Raureif mit 90 g (Eisdichte: 600 kg/m³; Maße: 12 cm x 2.5 cm x 5 cm)

B) Eisstück aus Raureif mit 240 g (Eisdichte: 600 kg/m³; Maße: 20 cm x 4 cm x 5 cm)

C) Eisstück aus Klareis mit 70 g (Eisdichte: 900 kg/m³; Maße: 8.5 cm x 2.4 cm x 3.8 cm)

D) Eisstück aus Klareis mit 180 g (Eisdichte: 900 kg/m³; 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.

Industrie Service

3 Eingangsdaten für die Berechnungen

3.1 Tabellarische und graphische Darstellung der Windparkkoordinaten

Die Standortkoordinaten für den Windpark Straubenhardt wurden vom Auftraggeber mitgeteilt [5] und werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Windpark Straubenhardt	Koordinatensystem				Höhe ü. NN ca.	
	Gauß-Krüger, DHDN, Zone 3		Geographisch, WGS 84		Fußpunkt	Blattspitze
	RW	HW	O	N	[m]	[m]
WEA 1	3'465'814	5'408'949	8°32'00.51"	48°49'01.46"	597	796
WEA 2	3'465'655	5'409'262	8°31'52.62"	48°49'11.56"	588	787
WEA 3	3'464'512	5'409'792	8°30'56.43"	48°49'28.49"	562	761
WEA 5	3'464'046	5'409'825	8°30'33.57"	48°49'29.46"	553	752
WEA 6	3'464'055	5'410'209	8°30'33.89"	48°49'41.89"	517	716
WEA 10	3'465'975	5'408'240	8°32'08.62"	48°48'38.54"	672	871
WEA 11	3'465'641	5'408'439	8°31'52.19"	48°48'44.92"	655	854
WEA 12	3'465'127	5'408'383	8°31'27.01"	48°48'43.00"	623	822
WEA 13	3'464'662	5'408'603	8°31'04.15"	48°48'50.03"	633	832
WEA 14	3'464'173	5'408'666	8°30'40.16"	48°48'51.97"	603	802
WEA 15	3'465'218	5'408'736	8°31'31.36"	48°48'54.45"	613	812

Tabelle 12: Koordinaten der geplanten Anlagen im Windpark Straubenhardt (Konfiguration VII).

Industrie Service

In der nachfolgenden Abbildung werden die geplanten Anlagenstandorte im Windpark Straubenhardt graphisch dargestellt.

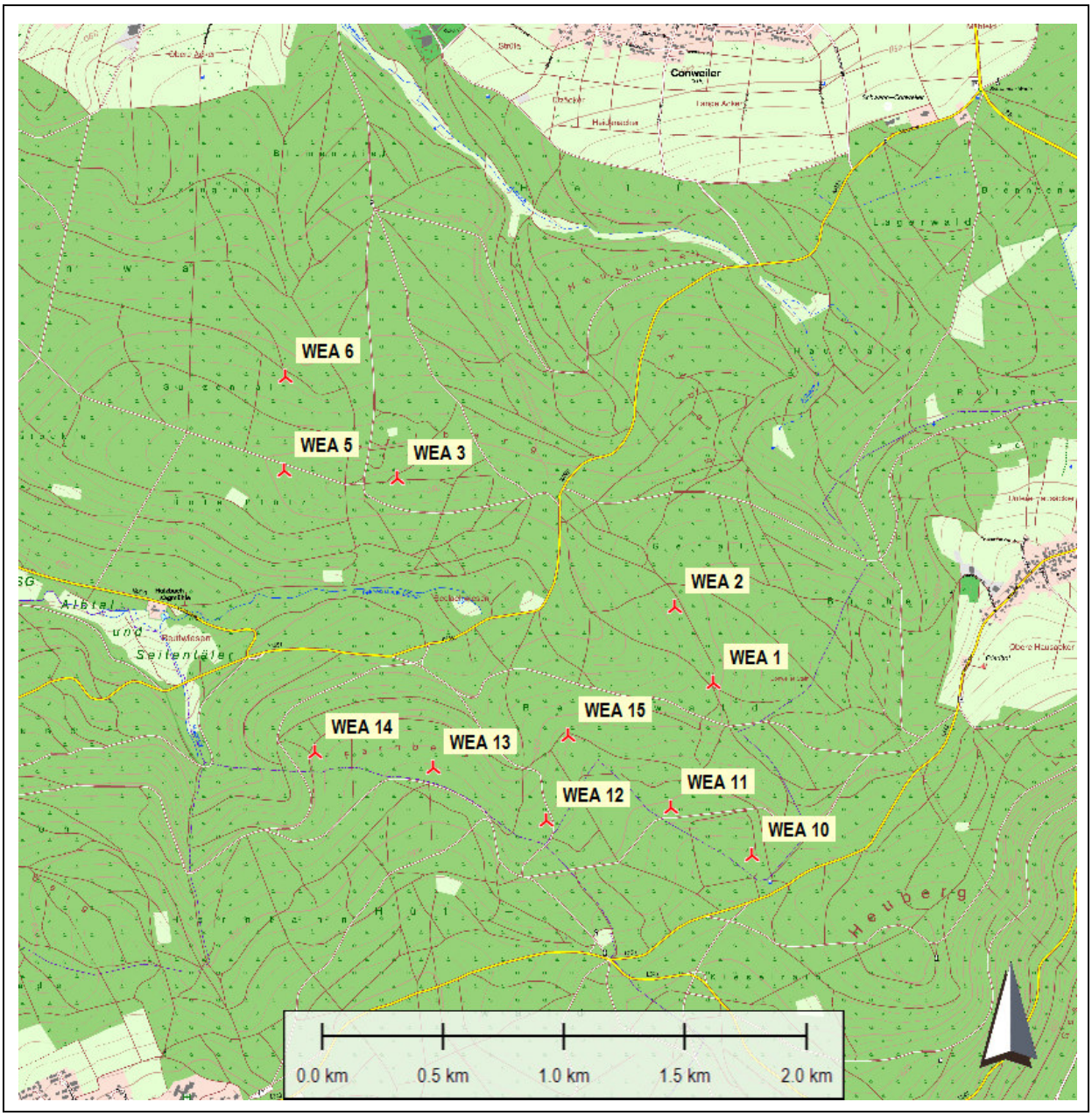

Abbildung 1: Topographische Karte [19] mit den Standorten der geplanten WEA (⅄) im Windpark Straubenhardt.

3.2 Untersuchungsobjekte am Standort

Die geplanten Anlagenstandorte befinden sich in einem ausgedehnten Waldgebiet und sind von einem Wald- und Forstwegsystem umgeben, wobei die Abstände der Anlagen zu diesen Wegen (*B* bis *K*, *Q* bis *AQ, AS* bis *BE* sowie *BH* bis *BK*) zwischen < 10 m und 360 m betragen.

Seitens des Auftraggebers wurden Informationen zum Befestigungsgrad der Wege zur Verfügung gestellt [20]. Demnach handelt es sich bei den Wegen *B, C, R, T, V-X, Z, AA, AC, AF, AI, AN, AQ, AS, AT, BA* und *BB* um befestigte Wirtschaftswege bzw. bei den Wegen *K* und *AV* um befestigte Hauptwirtschaftswege. Diese Informationen werden in den nachfolgenden Tabellen 13 und 14 ebenfalls aufgeführt.

Nach den verfügbaren Informationen [20] stellt außerdem der Weg *AN* einen Abschnitt des ausgewiesenen Fernwanderweges *Westweg* dar. Dieser wurde in den Abbildungen mit gestrichelter orangefarbiger Linie gekennzeichnet.

Desweiteren verlaufen zwei Verkehrsstraßen in der näheren Umgebung des geplanten Windparks. Die Kreisstraße K4551 (Straße *A*) durchquert den Windpark und teilt ihn in einen nördlichen bzw. südlichen Teilbereich. Der minimale Abstand zu den geplanten Anlagen beträgt hierbei ca. 670 m (WEA 3). Die Landesstraße L339 (Straße *AR*) verläuft südlich des geplanten Standortes, in einer Entfernung von ca. 170 m zur nächstgelegenen WEA 10.

Zusätzlich wurden südlich der WEA 10 zwei Gebäude als Untersuchungsobjekte betrachtet. Das Gebäude *BF* stellt nach den verfügbaren Informationen einen Hochbehälter des Zweckverbandes der Mannenbach Wasserversorgung dar [21]. Bei dem Gebäude *BG* handelt es sich nach Auskunft der Gemeinde Straubenhardt um eine Hütte, die hauptsächlich zur Lagerung für den Forstbetrieb genutzt wird [22].

Die oben beschriebenen Objekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte werden in den nachfolgenden Tabellen 13 und 14 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 [19] zurückzuführen ist.

In den darauf folgenden Abbildungen 2 bis 4 werden die Untersuchungsobjekte jeweils für den nördlichen bzw. südlichen Windparkbereich dargestellt, eingetragen mit den Bezeichnungen A bis BK. Für beide Teilbereiche des geplanten Windparks werden jeweils die Straßen und Wege sowie in einer separaten Abbildung die zwei Gebäude als Untersuchungsobjekte aufgeführt.

Industrie Service

Bezeichnung	Objekt	Minimaler Abstand zur jeweiligen WEA
A	Kreisstraße K4551	670 m (WEA 3)
B	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	115 m (WEA 3) 355 m (WEA 6) 330 m (WEA 5)
C	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	10 m (WEA 3)
D	Waldweg	175 m (WEA 3)
E	Waldweg	225 m (WEA 3)
F	Waldweg	15 m (WEA 3)
G	Waldweg	80 m (WEA 3)
H	Waldweg	125 m (WEA 3)
I	Waldweg	145 m (WEA 3)
J	Waldweg	240 m (WEA 3)
K	Waldweg / Befestigter Hauptwirtschaftsweg	360 m (WEA 3)
Q	Waldweg	280 m (WEA 6)
R	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	180 m (WEA 6) 255 m (WEA 5)
S	Waldweg	30 m (WEA 6)
T	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	15 m (WEA 6)
U	Waldweg	110 m (WEA 6) 180 m (WEA 5)
V	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	175 m (WEA 6) 185 m (WEA 5)
W	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	20 m (WEA 5)
X	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	140 m (WEA 3) 295 m (WEA 5)

Tabelle 13: Objekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte (nördlicher Windparkbereich).

Industrie Service

Bezeichnung	Objekt	Minimaler Abstand zur jeweiligen WEA
Y	Waldweg	90 m (WEA 2) 300 m (WEA 1)
Z	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	160 m (WEA 2)
AA	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	25 m (WEA 2) < 10 m (WEA 1)
AB	Waldweg	210 m (WEA 2)
AC	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	110 m (WEA 2)
AD	Waldweg	295 m (WEA 2)
AE	Waldweg	185 m (WEA 2) 15m (WEA 1)
AF	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	85 m (WEA 1) 195 m (WEA 11)
AG	Waldweg	85 m (WEA 1)
AH	Waldweg	270 m (WEA 1)
AI	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	145 m (WEA 1) 205 m (WEA 15)
AJ	Waldweg	200 m (WEA 1) 335 m (WEA 11) 305 m (WEA 15)
AK	Waldweg	185 m (WEA 1) 100 m (WEA 11) 175 m (WEA 12) 180 m (WEA 15)
AL	Waldweg	180 m (WEA 10)
AM	Waldweg	265 m (WEA10)
AN	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg Abschnitt des Westweges (Fernwanderweg)	175 m (WEA 10) 45 m (WEA 11) 215 m (WEA 12)
AO	Waldweg	195 m (WEA 10) 155 m (WEA 11) 230 m (WEA 12) < 10 m (WEA 15)
AP	Waldweg	55 m (WEA 10)
AQ	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	15 m (WEA 10) 100 m (WEA 11)
AR	Landesstraße L339	170 m (WEA 10)
AS	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	95 m (WEA 10)
AT	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	165 m (WEA 12) 95 m (WEA 15)
AU	Waldweg	75 m (WEA 12)

AV	Waldweg / Befestigter Hauptwirtschaftsweg	20 m (WEA 12) 200 m (WEA 15) 250 m (WEA 13)
AW	Waldweg	120 m (WEA 12) 190 m (WEA 15) 370 m (WEA 13)
AX	Waldweg	220 m (WEA 15)
AY	Waldweg	215 m (WEA 15)
AZ	Waldweg	250 m (WEA 13) 130 m (WEA 14)
BA	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	230 m (WEA 12) 170 m (WEA 13) 15 m (WEA 14)
BB	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	70 m (WEA 13) 270 m (WEA 14)
BC	Waldweg	70 m (WEA 13)
BD	Waldweg	120 m (WEA 13)
BE	Waldweg	70 m (WEA 13)
BF	Hochbehälter Wasserversorgung	140 m (WEA 10)
BG	Hütte zur forstbetrieblichen Lagerung	130 m (WEA 10)
BH	Waldweg	150 m (WEA 14)
BI	Waldweg	60 m (WEA 14)
BJ	Waldweg	20 m (WEA 14)
BK	Waldweg / Befestigter Wirtschaftsweg	95 m (WEA 14)

Tabelle 14: Objekte in der Umgebung der geplanten Anlagenstandorte (südlicher Windparkbereich).

Industrie Service

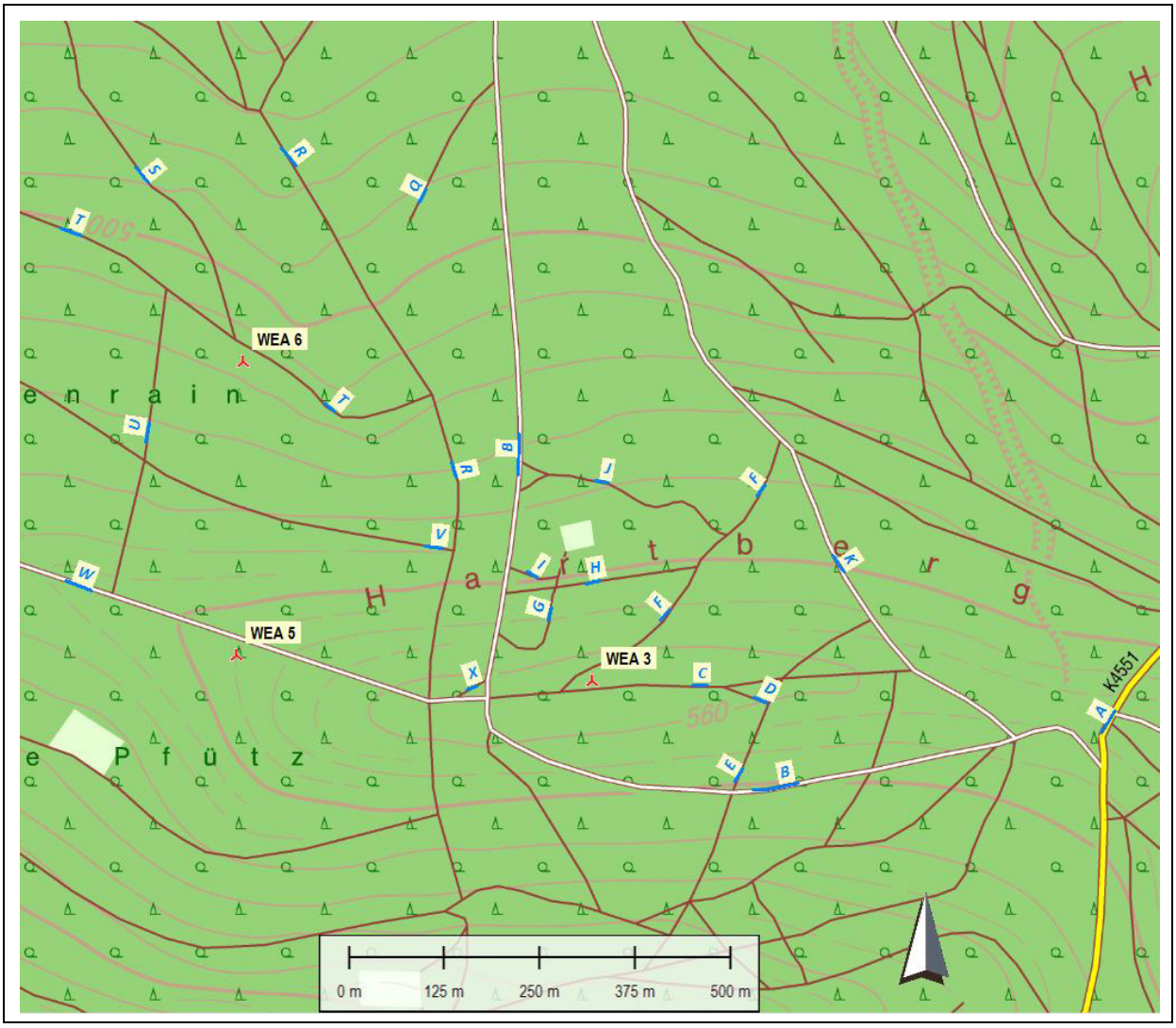

Abbildung 2: **Topographische Karte [19] mit den untersuchten Objekten am geplanten Standort Straubenhardt (nördlicher Windparkbereich mit den Objekten A bis X gekennzeichnet) sowie Standorte der geplanten WEA (⅄).**

Industrie Service

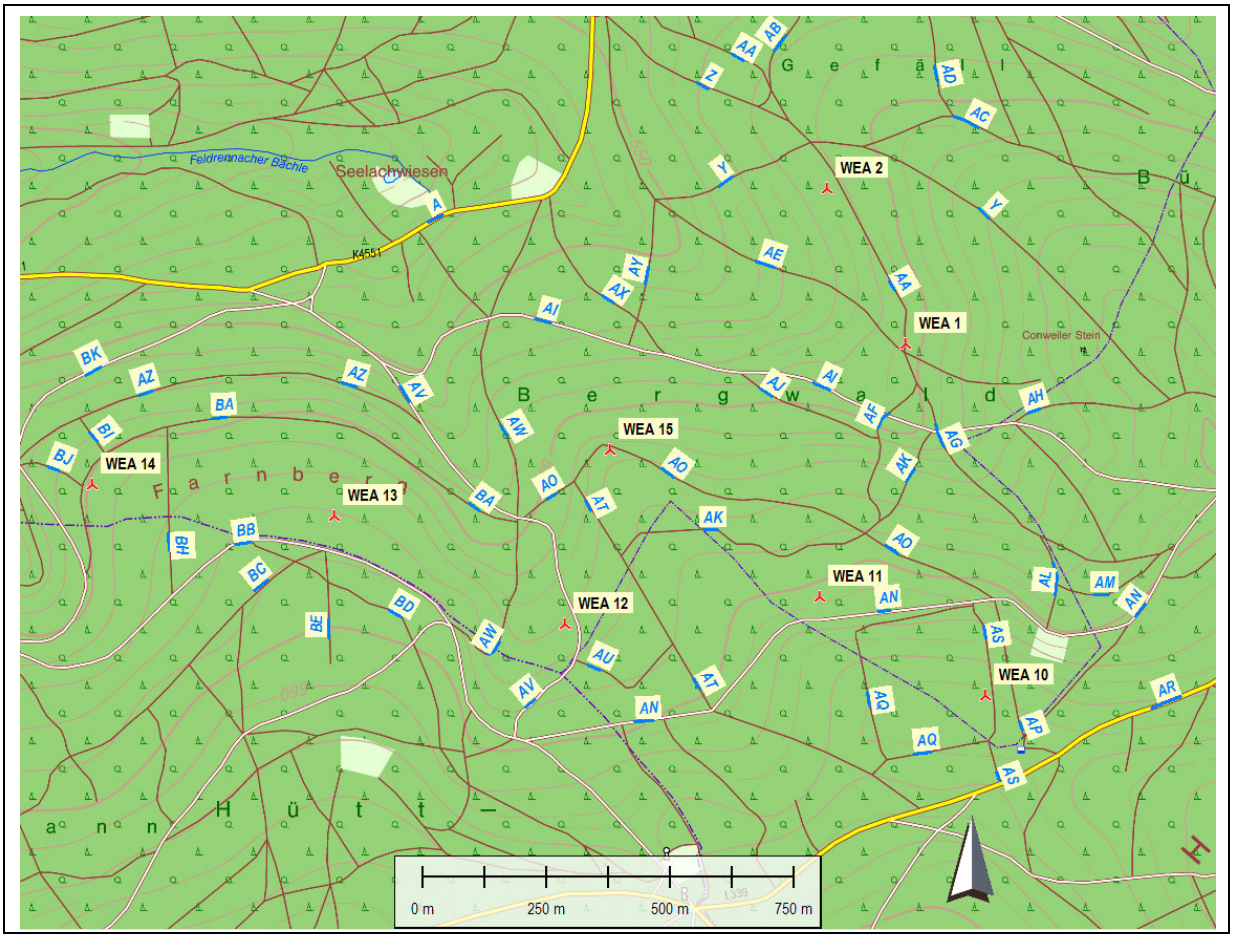

Abbildung 3: **Topographische Karte [19] mit den untersuchten Objekten am geplanten Standort Straubenhardt (südlicher Windparkbereich mit den Objekten Y bis BK gekennzeichnet) sowie Standorte der geplanten WEA (⅄). Der Verlauf des ausgewiesenen Wanderweges *Westweg* ist mit orange gestrichelter Linie gekennzeichnet.**

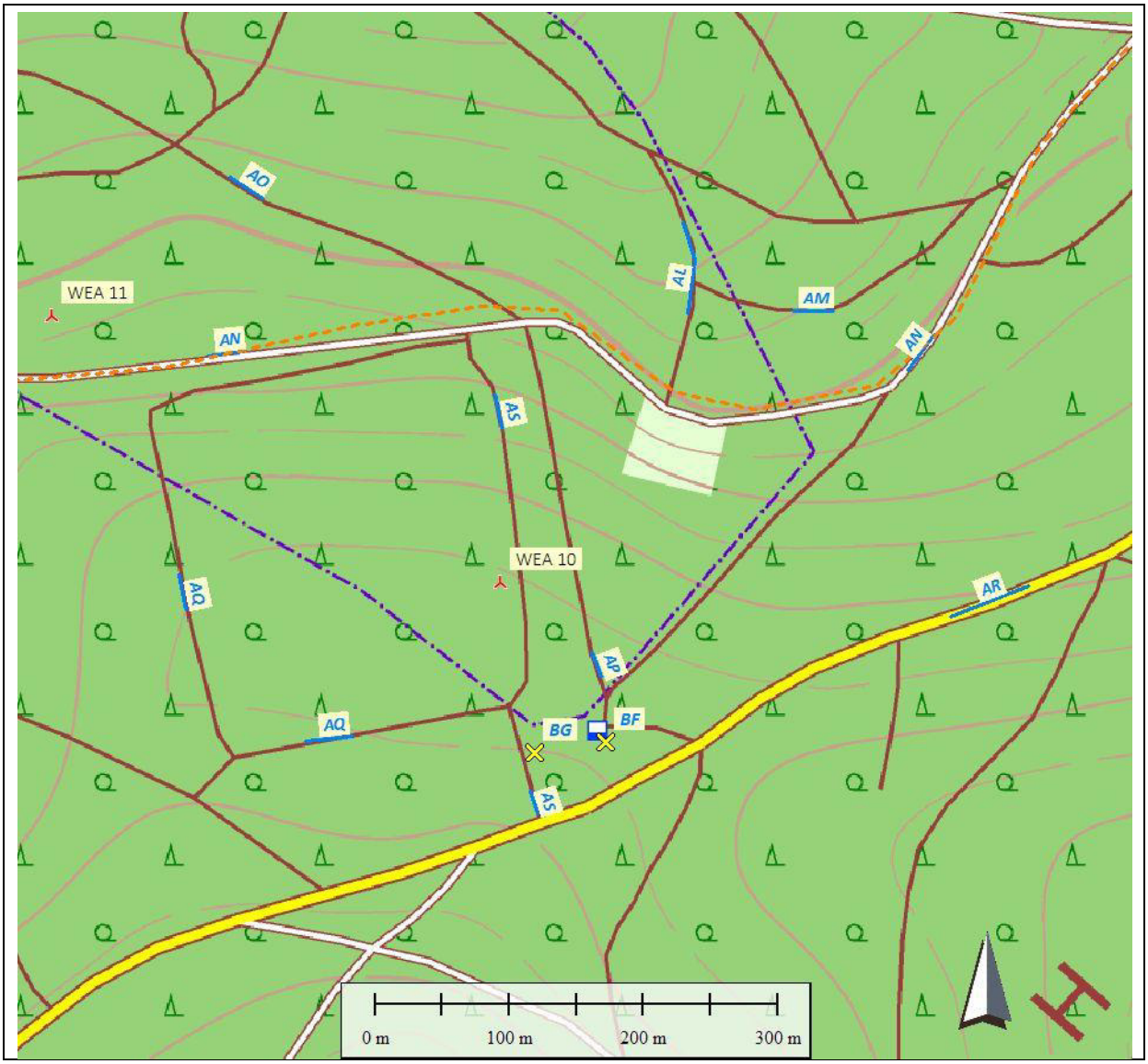

Abbildung 4: **Topographische Karte [19] mit den untersuchten Objekten BF und BG am geplanten Standort Straubenhardt (mit gelber Kreuzsignatur eingetragen).**

3.3 Anlagenspezifische Eingangsdaten

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

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

Konfiguration [-]	Hersteller / Typ [-]	Leistung P [MW]	Nabenhöhe NH [m]	Rotordurchm. D [m]	Maximale Umdrehungszahl im Trudelbetrieb [U/min]
VII	Siemens SWT-3.0-113	3.0	142.5	113.0	3.11

Tabelle 15: **Zusammenfassung der technischen Daten der geplanten WEA.**

3.3.1 Beschreibung des Eiserkennungssystems

Die nachfolgend aufgeführten Angaben stammen vom Hersteller der geplanten Anlagen. Hierzu wurden vom Hersteller zwei Dokumente (Dok. Nr.: E W EMEA EN-40-0000-7024-00 vom 10.01.2013 [23] und E EMEA W EN-10-0000-0242-02 vom 19.06.2012 [24]) zur Verfügung gestellt, in dem die bei dem geplanten Anlagentyp verwendeten Eiserkennungsstrategien sowie -systeme beschrieben sind. Ein Auszug dieser Systembeschreibungen ist diesem Bericht als Anlage beigefügt.

Die Erkennung von Eisansatz erfolgt durch mehrere Verfahren redundant. Hierzu gehören die Messung der Windparameter durch ein beheiztes Ultraschall-Windmessgerät und ein unbeheiztes mechanisches Windmesssystem, der Vergleich von theoretischen und realen Leistungswerten sowie die Überwachung unzulässiger Schwingungen am Rotor. Wird Eisansatz erkannt, wird dies in die Anlagensteuerung als Fehlermeldung übermittelt und die WEA stoppt bzw. geht in den Trudelbetrieb über.

Ein manueller Neustart der Anlagen wird erst nach erfolgter Sichtprüfung vom Boden durch einen zuständigen Techniker durchgeführt, falls an den Rotorblättern keine sicherheitsrelevanten Eisablagerungen festgestellt wurden.

Das Fernstarten der Anlage ist nur dann zulässig, wenn die oben genannte Sichtkontrolle durch einen Techniker durchgeführt wurde oder die Umgebungstemperatur länger als 3 Stunden über +3 °C bzw. länger als 1 Stunde über +5 °C lag.

Optional stehen Heizelemente für die Windmessgeräte zur Verfügung. Diese werden jedoch nur für die Enteisung der Messsysteme verwendet, eine dauerhafte Beheizung ist durch diese Heizelemente nicht vorgesehen. Somit ist von keiner Beeinträchtigung des Eiserkennungssystems durch die Messung der Windparameter auszugehen.

3.3.2 Zertifizierung des Eiserkennungssystems

Gemäß der Anforderungen der Richtlinie für Windenergieanlagen, Anlage 2.7/12 [17] ist eine gutachterliche Stellungnahme eines entsprechend gelisteten Sachverständigen zur Funktionssicherheit des Eiserkennungssystems vorzulegen.

Die oben beschriebenen Eiserkennungssysteme wurden von der Firma Det Norske Veritas, Danmark A/S, einem nach der Richtlinie [17] gelisteten unabhängigen Sachverständigen, im Rahmen einer gutachterlicher Stellungnahme bewertet. Die vom Auftraggeber bzw. vom Anlagenhersteller zur Verfügung gestellte Stellungnahme [25] ist diesem Bericht beigefügt.

Entsprechend diesem Dokument kann der Betrieb der Siemens Windenergieanlagen aufgrund der voneinander unabhängig funktionierenden Eiserkennungssysteme bei Eisansatz an den Rotorblättern sicher ausgeschlossen werden.

Dies erfüllt die Anforderungen gemäß Anlage 2.7/12 zur Richtlinie für Windenergieanlagen, Abschnitt 3.3 der Liste der Technischen Baubestimmungen [17].

4 Meteorologische Eingangsdaten

4.1 Standortspezifische Windmessdaten

Am Standort Straubenhardt wurde eine Windmessung über einen Zeitraum von 12 zusammenhängenden Monaten mittels eines 99.5 m hohen Masten sowie LIDAR-Messungen zur Windprofilvalidierung durchgeführt. Diese Messdaten wurden im Rahmen des durch die TÜV SÜD IS erstellten Windgutachtens [6] zur Erzeugung einer Windstatistik verwendet.

4.2 Generierte Windstatistik für die Eisfallberechnungen

Für die Eisfallberechnungen wurde die auf Basis des Windgutachtens [6] für den Standort und für die hier betrachtete Nabenhöhe von 142.5 m generierte Windstatistik herangezogen.

Aufgrund der räumlichen Nähe der geplanten Anlagen im Windpark sind hinsichtlich der für die Beurteilung des Eisfalls einfließenden Windverhältnisse die minimalen Unterschiede zwischen den einzelnen Windstatistiken an den geplanten WEA-Standorten nicht relevant. Für die hier durchgeführten Berechnungen wurde die für die als Referenzpunkt gewählte WEA 13 erzeugte Windstatistik verwendet. Diese kann für die restlichen Anlagen im Windpark als repräsentativ eingestuft werden.

Der Exponent der Windscherung wurde aus dem im Windgutachten betrachteten Windprofil über der Rotorfläche mit 0.30 ermittelt [6].

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

Sektor	Häufigkeiten	A-Parameter	k-Parameter
[°]	[%]	[m/s]	[-]
345 - 015	4.4	4.1	2.02
015 - 045	6.6	4.3	2.20
045 - 075	5.7	4.8	2.15
075 - 105	6.0	5.8	2.43
105 - 135	6.6	7.2	2.36
135 - 165	6.8	9.4	2.24
165 - 195	4.9	9.5	2.59
195 - 225	7.1	7.1	1.97
225 - 255	26.3	8.6	1.93
255 - 285	15.1	7.9	2.03
285 - 315	5.8	5.8	1.87
315 - 345	4.7	4.3	1.66
Summe / Mittelwert	**100**	**7.1**	**1.75**

Tabelle 16: Zusammenfassung der wichtigsten Parameter der ausgewählten Windstatistik (ohne Unsicherheitszuschlag) [6] für die geplante Nabenhöhe von 142.5 m.

Industrie Service

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 für die Eisfallberechnungen mit einem Unsicherheitszuschlag versehen, dem die Unsicherheitsbetrachtung des Windgutachtens [6] hinsichtlich der meteorologischen Eingangsdaten mit einer Unsicherheit von 10.2% bzw. der Windfeldmodellierung am Standort mit einer Unsicherheit von 7.2% zugrunde liegt. Dies ergibt eine kombinierte Unsicherheit von 12.5%. 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.

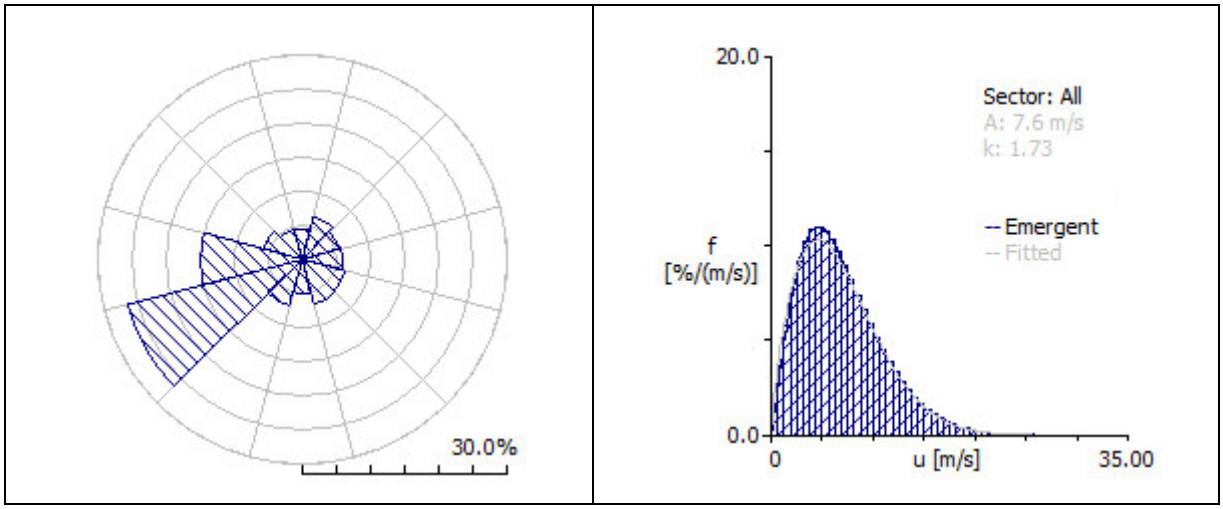

Abbildung 5: Ganzjährige Windrose und Histogramm der verwendeten Windstatistik für den Standort Straubenhardt.

5 Berechnungsergebnisse für Eisfall bei Trudelbetrieb

5.1 Graphische Darstellung der Ergebnisse

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 m² 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 56.5 m (Rotorradius), 100 m sowie 200 m Abstand eingefügt.

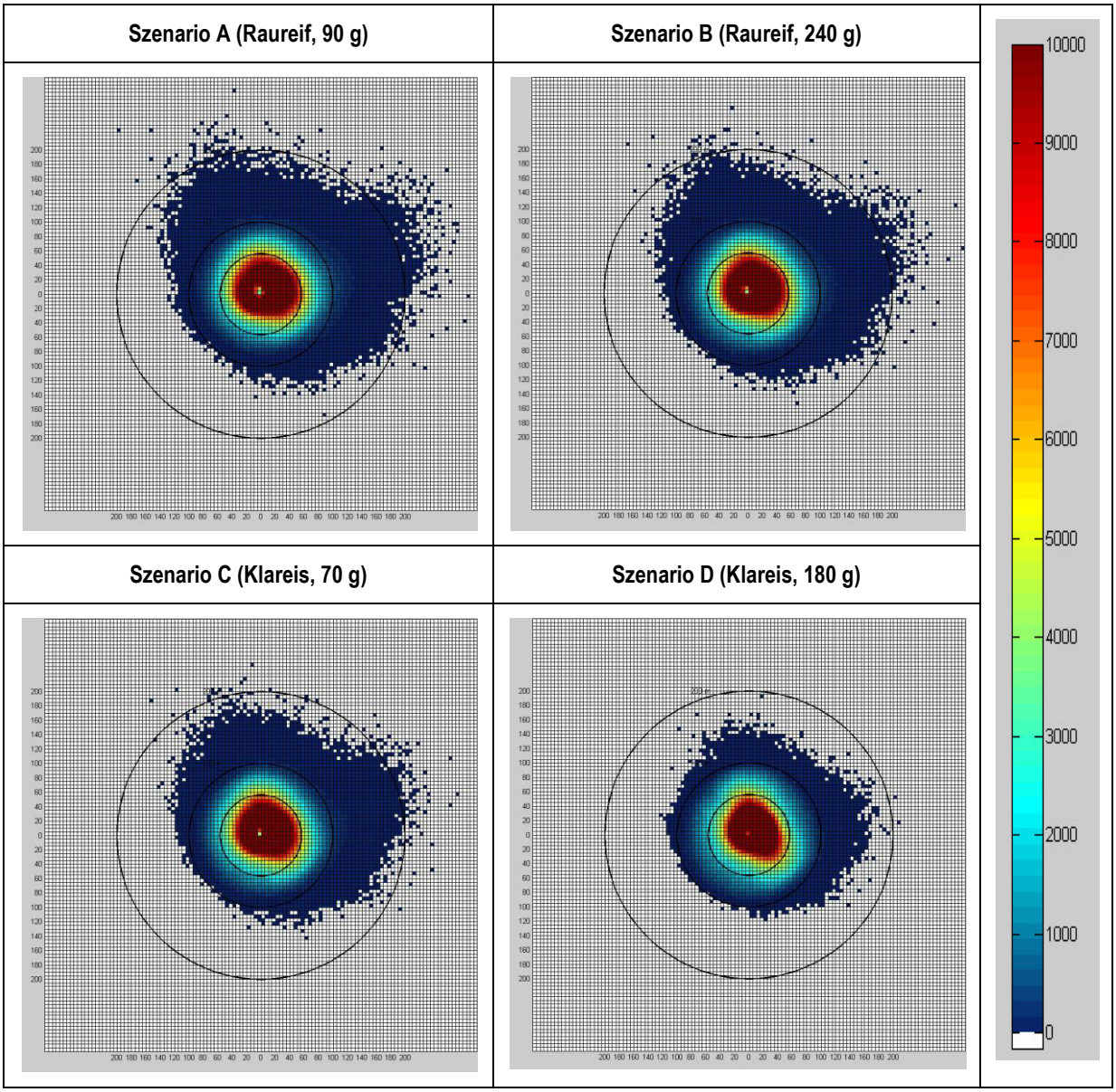

Abbildung 6: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für die untersuchten Szenarien. Die Ergebnisse sind für alle 11 geplanten Anlagenstandorte im Windpark Straubenhardt gültig. Die Farbskala zeigt die Anzahl der Treffer pro Quadrantfläche. Hilfsweise sind in den Abbildungen Abstandskreise 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 nordseitig bzw. nordostseitig der Anlage berechnet. Dies kommt zum einen durch die vorwiegend südwestliche 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 WSW und W sowie auch SSO aufweisen.

Zum anderen spielt auch die Ausrichtung der Anlage im rechten Winkel zur jeweiligen Windrichtung eine wichtige Rolle. Da der westsüdwestlicher Sektor die größten Häufigkeiten aufzeigt, kommt die entsprechende Ausrichtung der Anlage ebenfalls am häufigsten vor. Somit würde diese rechtwinklige Richtungskomponente, die das Eisstück beim Lösen vom Rotorblatt erhält, in einer etwa Nordnordwest-Südsüdost-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 vor allem im Szenario D mit dem Eisstück aus Klareis der Masse von 180 g gut zu beobachten. In den Szenarien A bis C ist dies weniger ausgeprägt, da aufgrund der Kombination aus Masse und Stirnfläche des Eisstücks die Verfrachtung durch den Wind überwiegt.

Die größten Fallweiten wurden in den betrachteten Szenarien A und B berechnet. Hierbei sind einzelne Treffer bis zu 285-310 m (in östlicher Richtung) bzw. 255-280 m (in nördlicher Richtung) von der Anlage simuliert worden, wobei die ermittelten Treffer ab einer Entfernung von ca. 205 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.

5.2 Übertragung der Ergebnisse auf die geplanten Standorte

In den nachfolgenden Abbildungen 7 bis 18 werden die für die vier betrachteten Szenarien ermittelten Gebiete, in denen Eisfall möglich ist, auf die geplanten Anlagenstandorte im Windpark Straubenhardt übertragen. Die Zuordnung der Wege ist aus Abschnitt 3.2 zu entnehmen. Aufgrund der Ausdehnung des geplanten Windparks sowie zur besseren Übersicht werden der nördliche und südliche Teilbereich (Abbildung 7 bis 10 bzw. 11 bis 14) des Windparks sowie die Übersicht zu den Gebäuden bei der WEA 10 (Abbildung 15 bis 18) jeweils separat dargestellt.

In den darauffolgenden Abbildungen 19 bis 29 werden die ermittelten Eisfallbereiche für die geplanten Anlagenstandorte auch einzeln dargestellt. Es werden die Ergebnisse im Szenario A gezeigt, da hierbei die größten Fallweiten berechnet wurden und somit das ermittelte Gebiet mit potenziellem Eisfall am konservativsten ausfällt.

Hilfsweise wird zu diesen Abbildungen eine tabellarische Darstellung der Bewertung der im Einwirkbereich der jeweiligen Anlagen befindlichen Untersuchungsobjekte gegeben (siehe hierzu die Tabellen 17 bis 27). Diese stellen eine zusammenfassende Bewertung dar, in die Ergebnisse aller vier betrachteten Szenarien eingeflossen sind.

Industrie Service

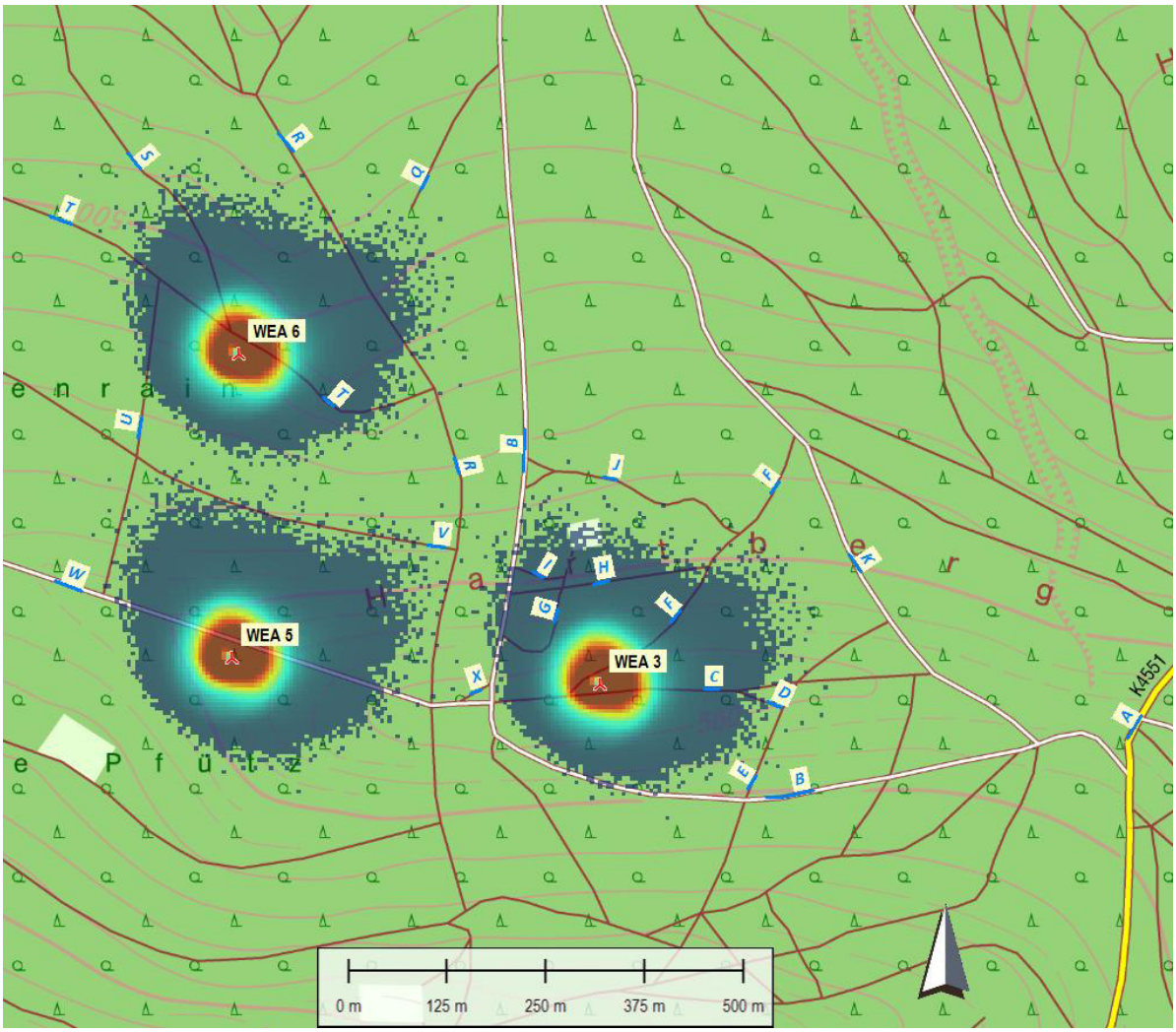

Abbildung 7: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario A (Raureif mit 90 g)</u> am Standort Straubenhardt (nördlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

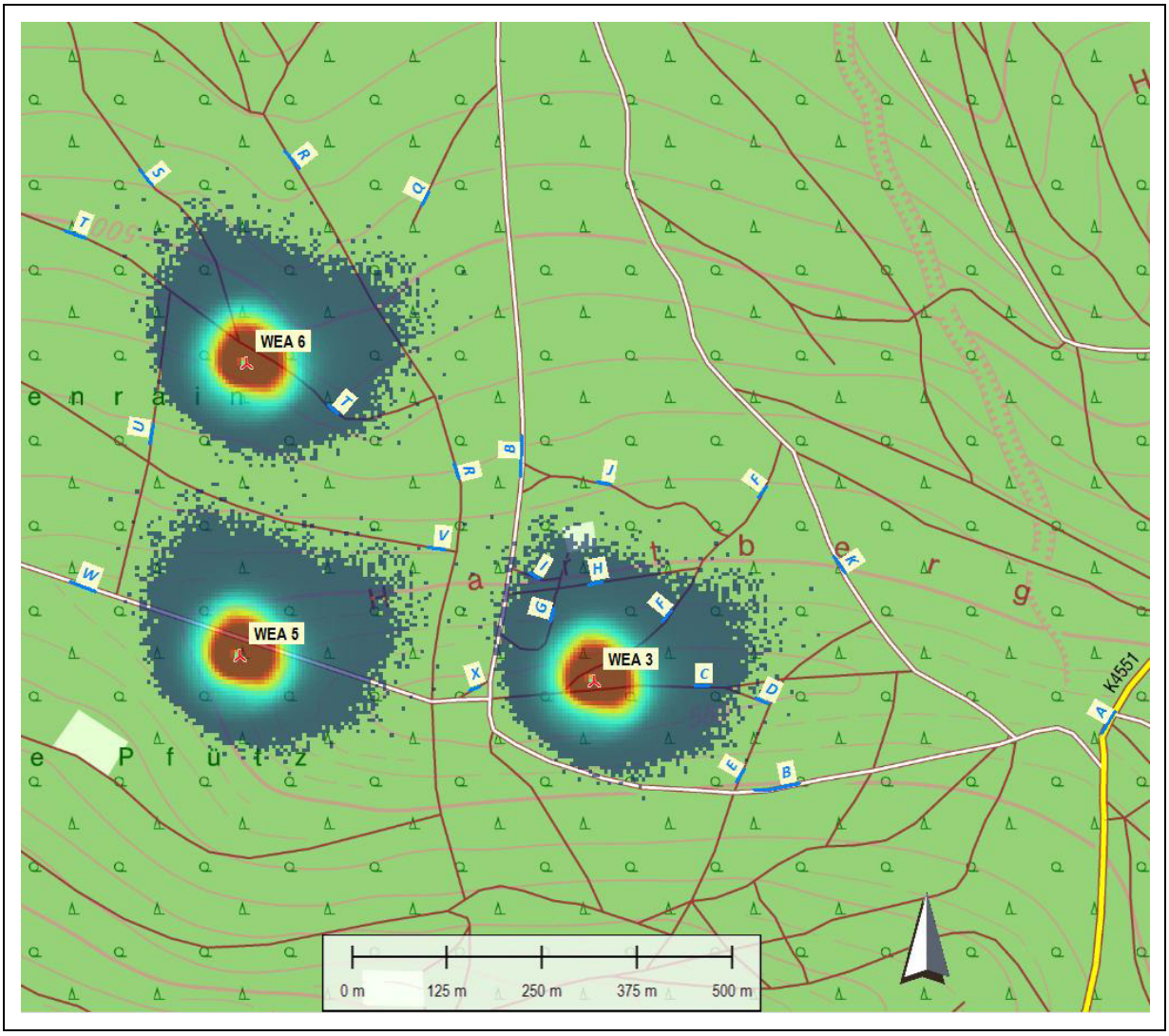

Abbildung 8: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario B (Raureif mit 240 g)</u> am Standort Straubenhardt (nördlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

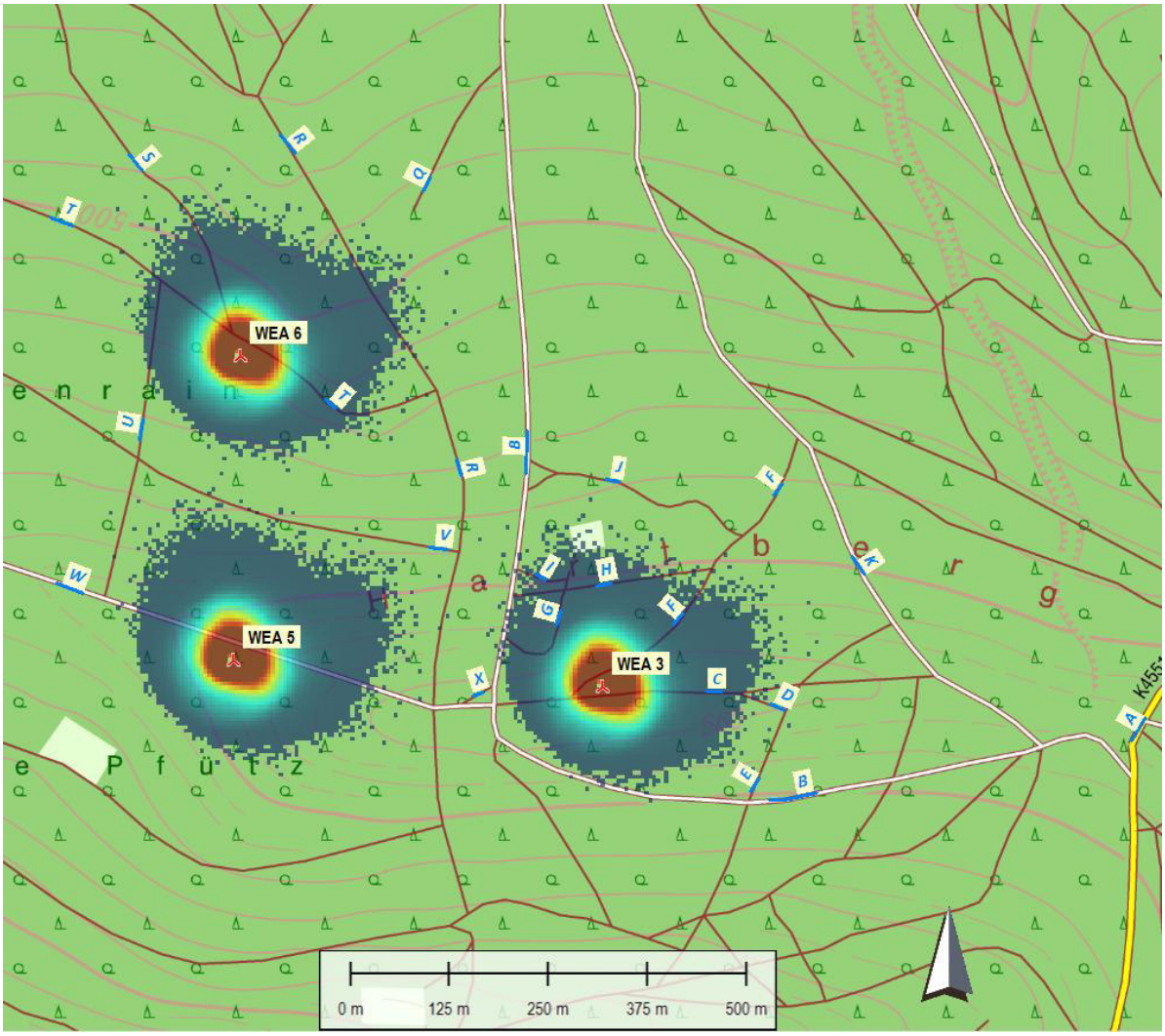

Abbildung 9: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario C (Klareis mit 70 g)</u> am Standort Straubenhardt (nördlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

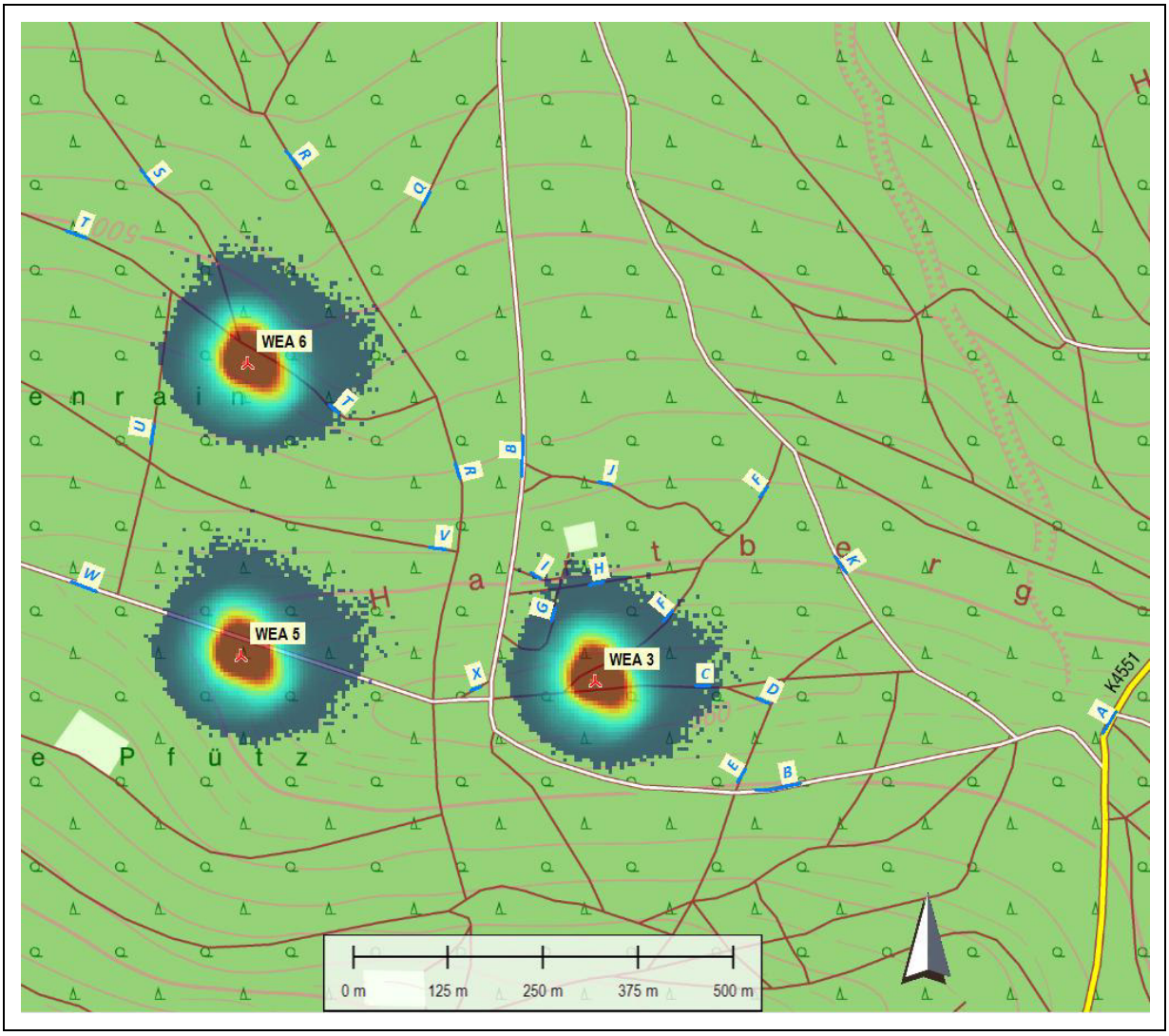

Abbildung 10: Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario D (Klareis mit 180 g)</u> am Standort Straubenhardt (nördlicher Windparkbereich).

Industrie Service

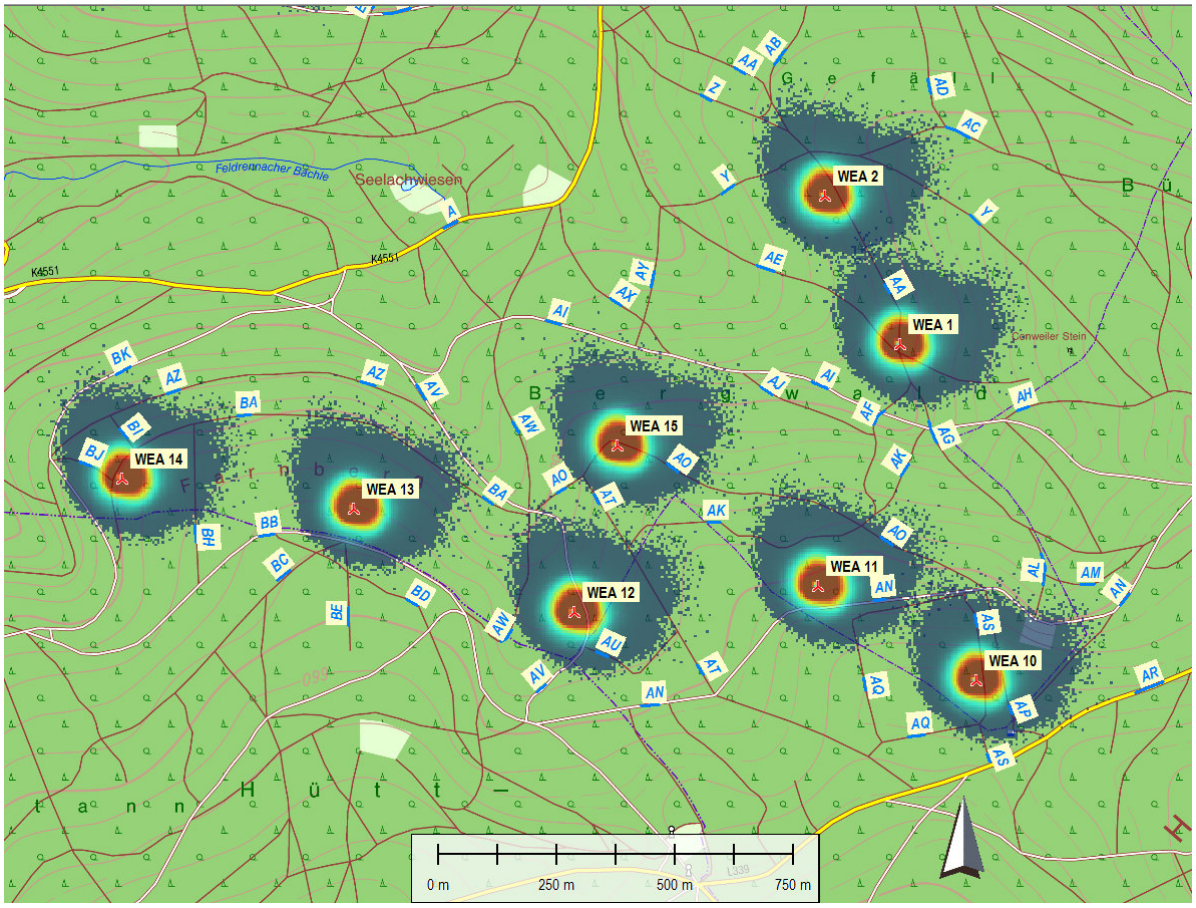

Abbildung 11: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario A (Raureif mit 90 g)</u> am Standort Straubenhardt (südlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

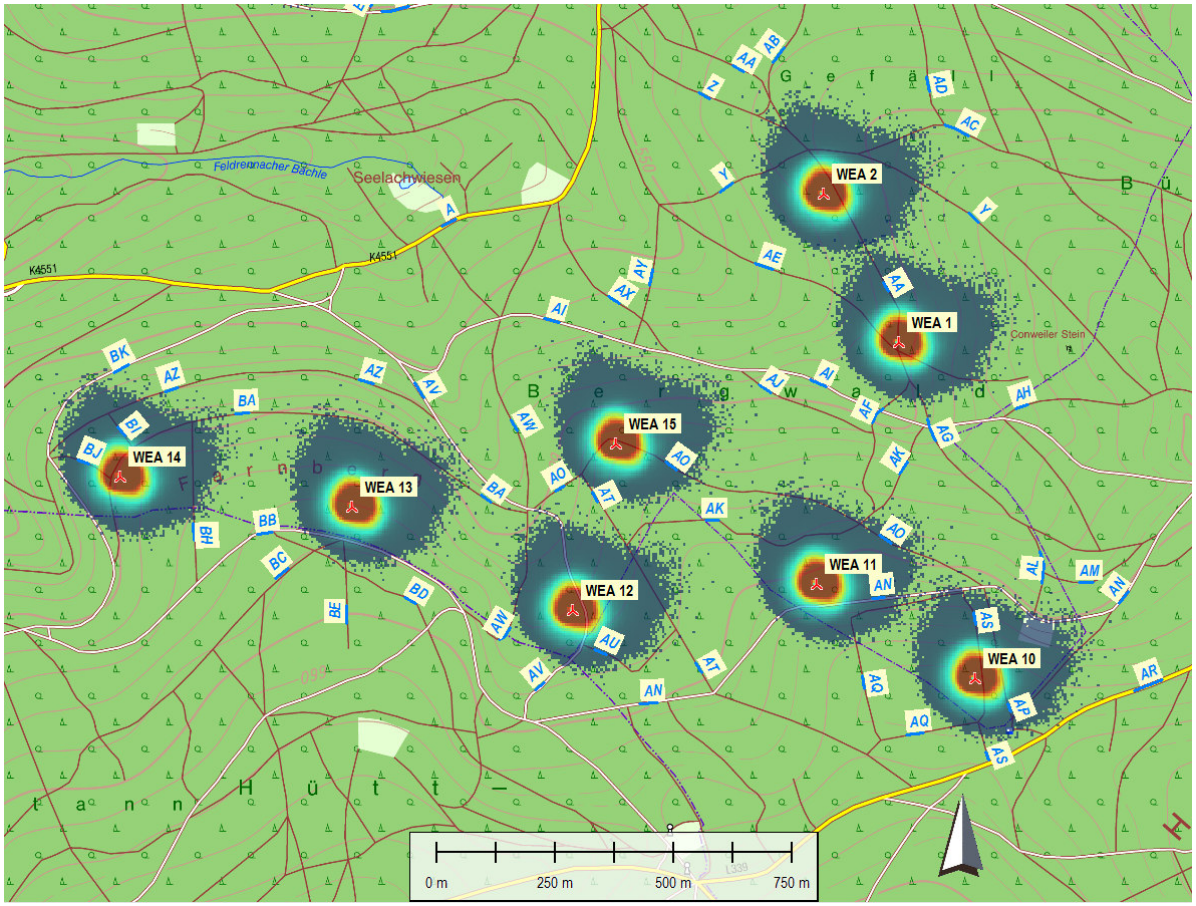

Abbildung 12: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario B (Raureif mit 240 g)</u> am Standort Straubenhardt (südlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

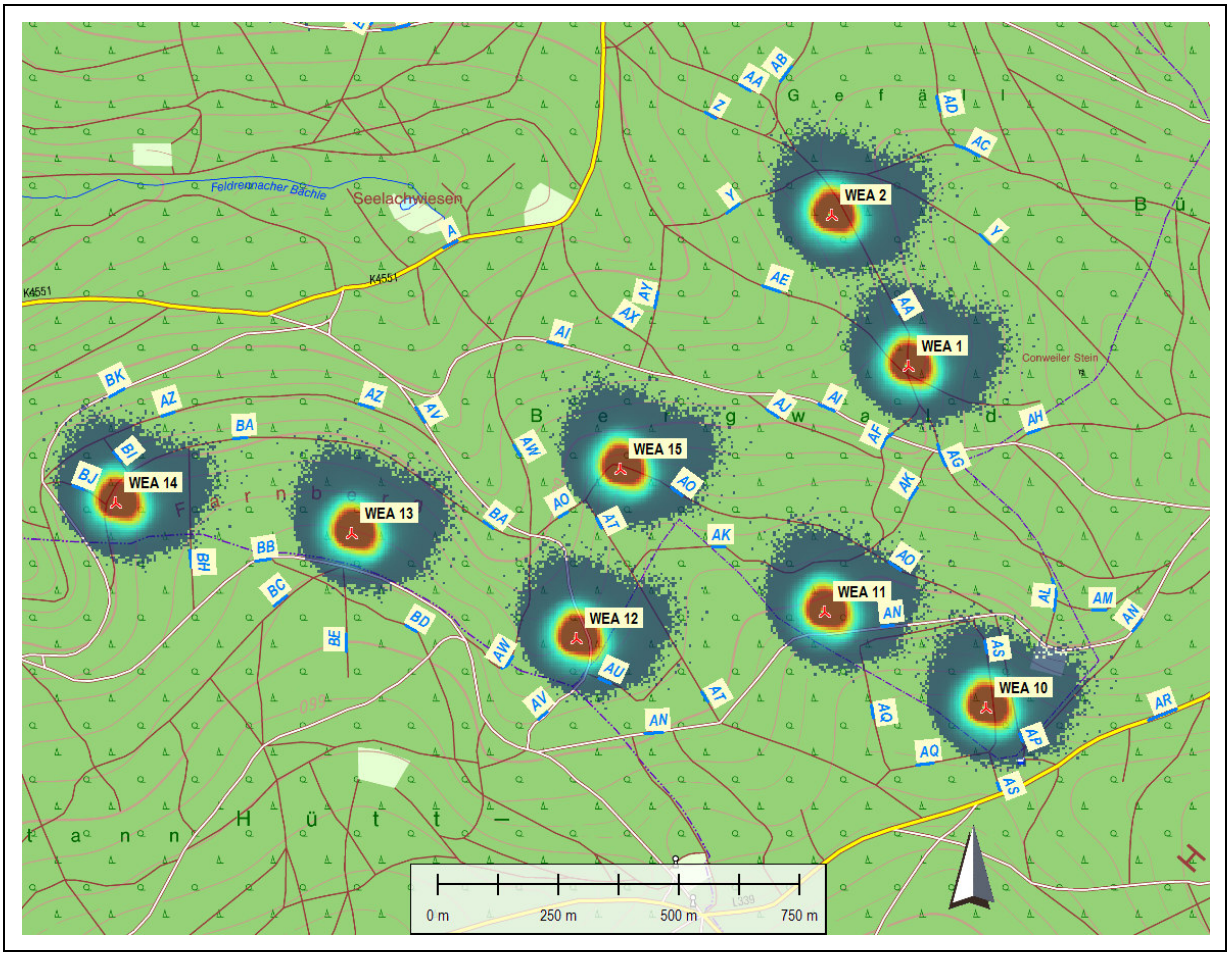

Abbildung 13: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario C (Klareis mit 70 g)</u> am Standort Straubenhardt (südlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

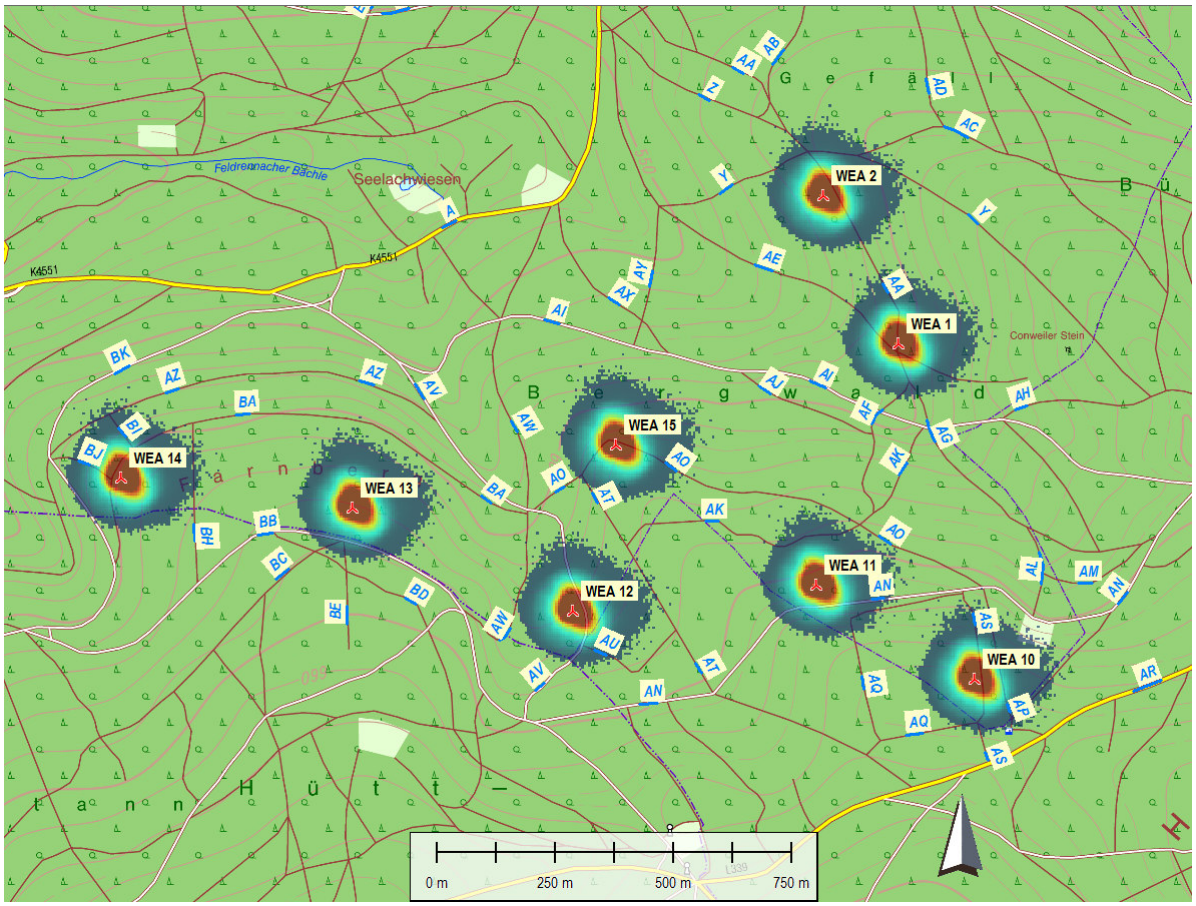

Abbildung 14: **Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario D (Klareis mit 180 g)</u> am Standort Straubenhardt (südlicher Windparkbereich).**

Industrie Service

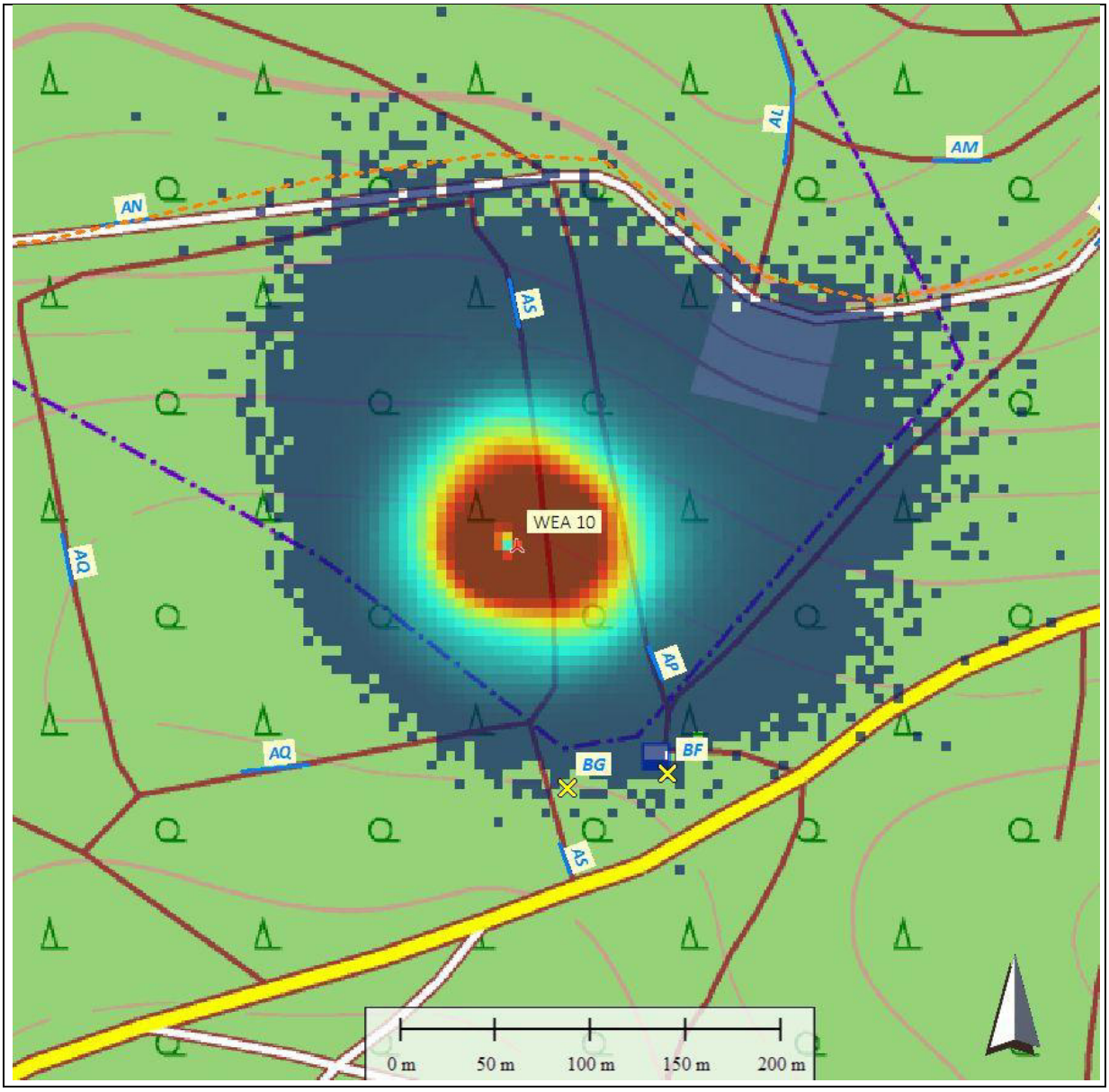

Abbildung 15: Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario A (Raureif mit 90 g)</u> am Standort Straubenhardt (Objekte BF und BG).

Industrie Service

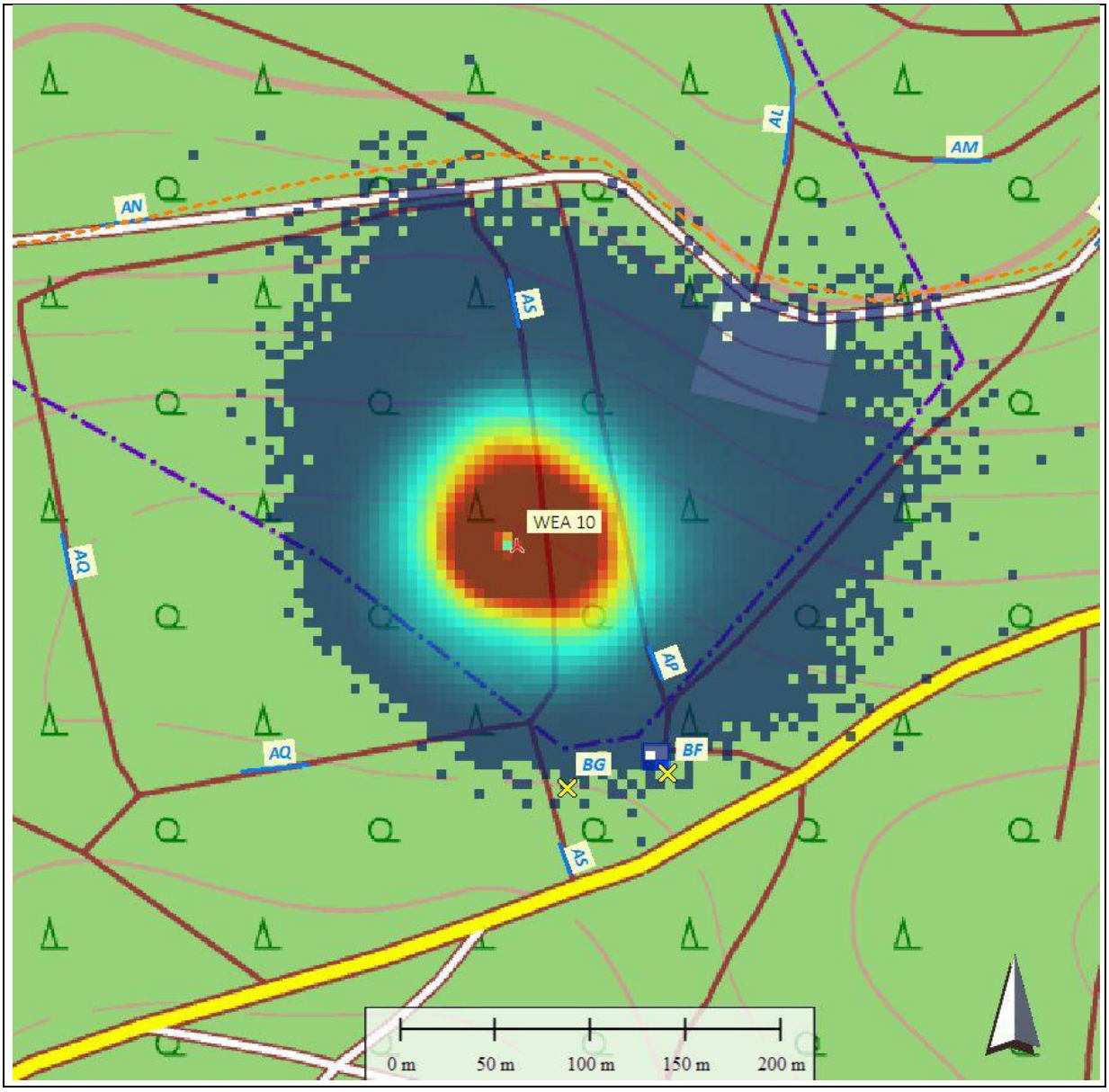

Abbildung 16: Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario B (Raureif mit 240 g)</u> am Standort Straubenhardt (Objekte BF und BG).

Industrie Service

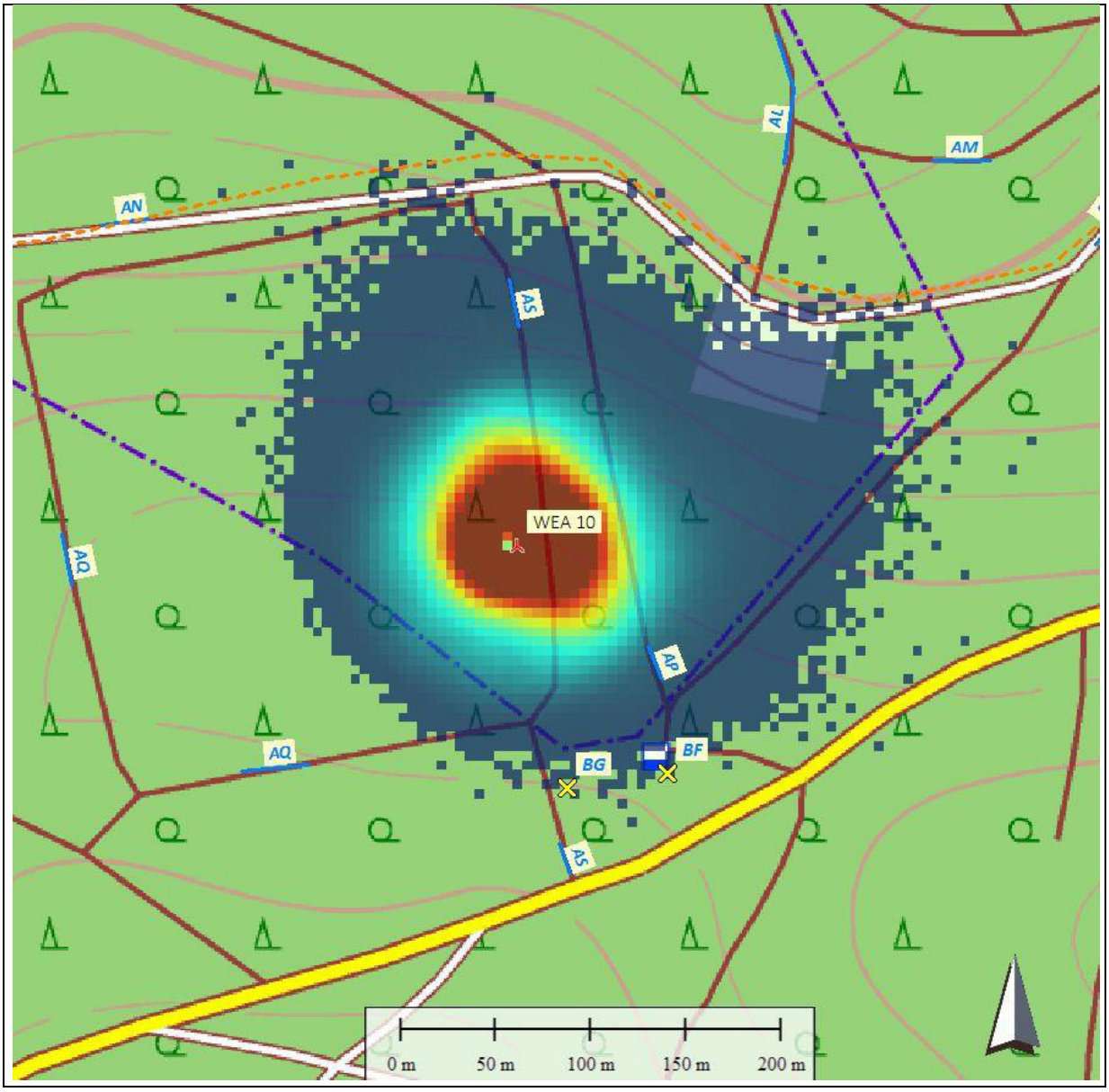

Abbildung 17: Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario C (Klareis mit 70 g)</u> am Standort Straubenhardt (Objekte BF und BG).

Industrie Service

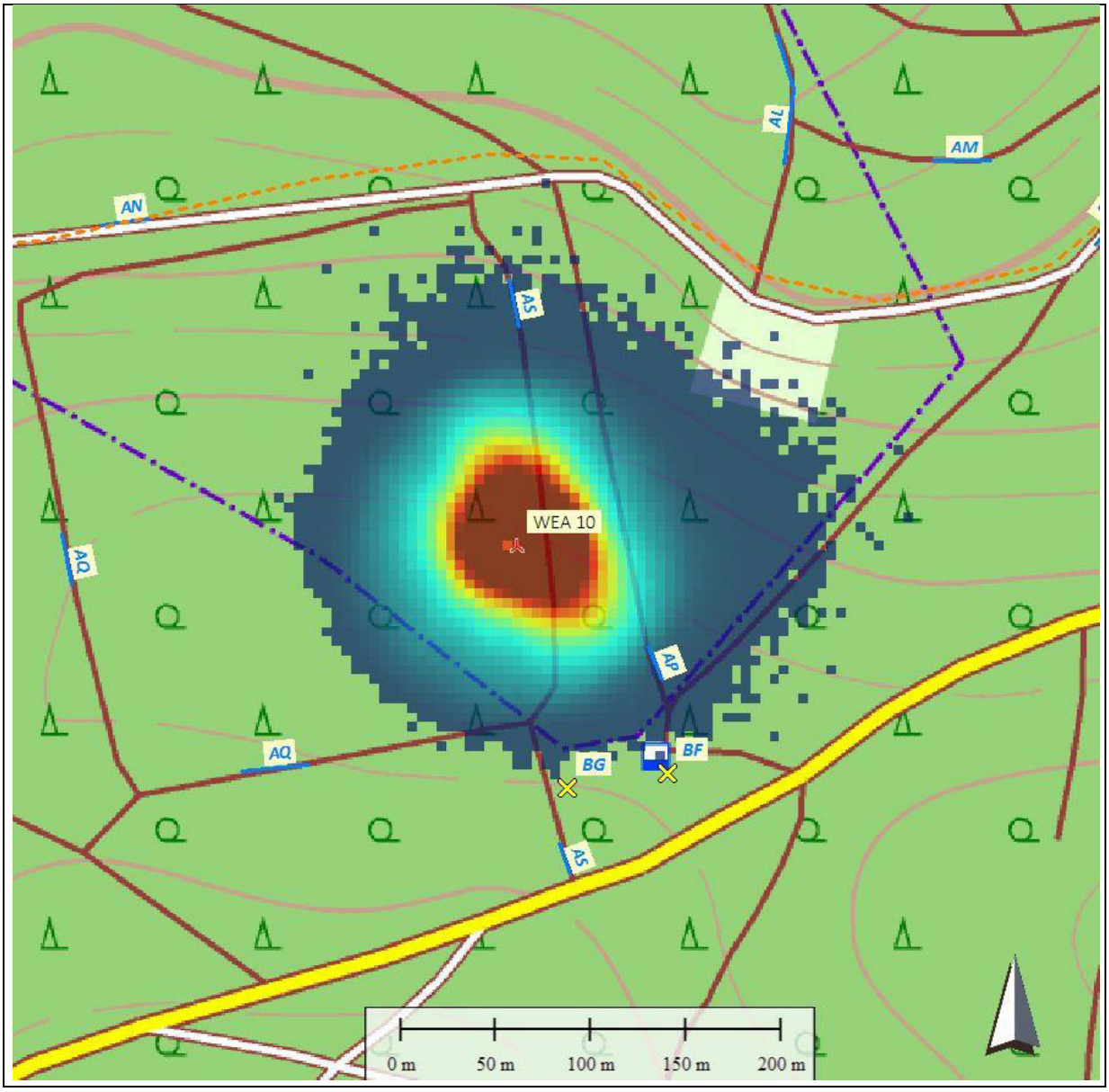

Abbildung 18: Grafische Darstellung der simulierten Fallweiten für <u>Szenario D (Klareis mit 180 g)</u> am Standort Straubenhardt (Objekte BF und BG).

Industrie Service

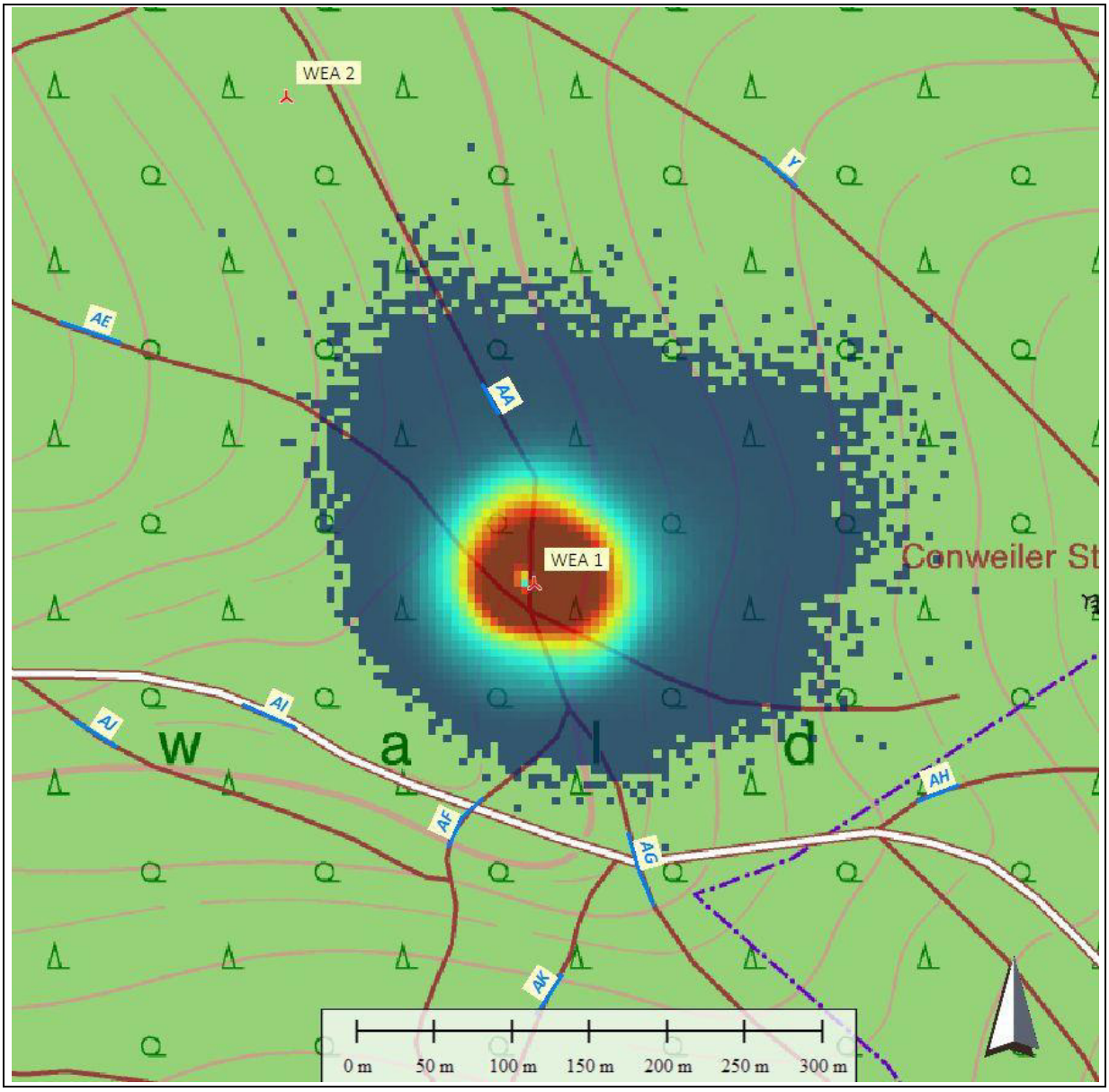

Abbildung 19: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 1 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
Y	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AA	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AE	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AF	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AG	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AH	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AI	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AJ	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AK	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar

Tabelle 17: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 1.**

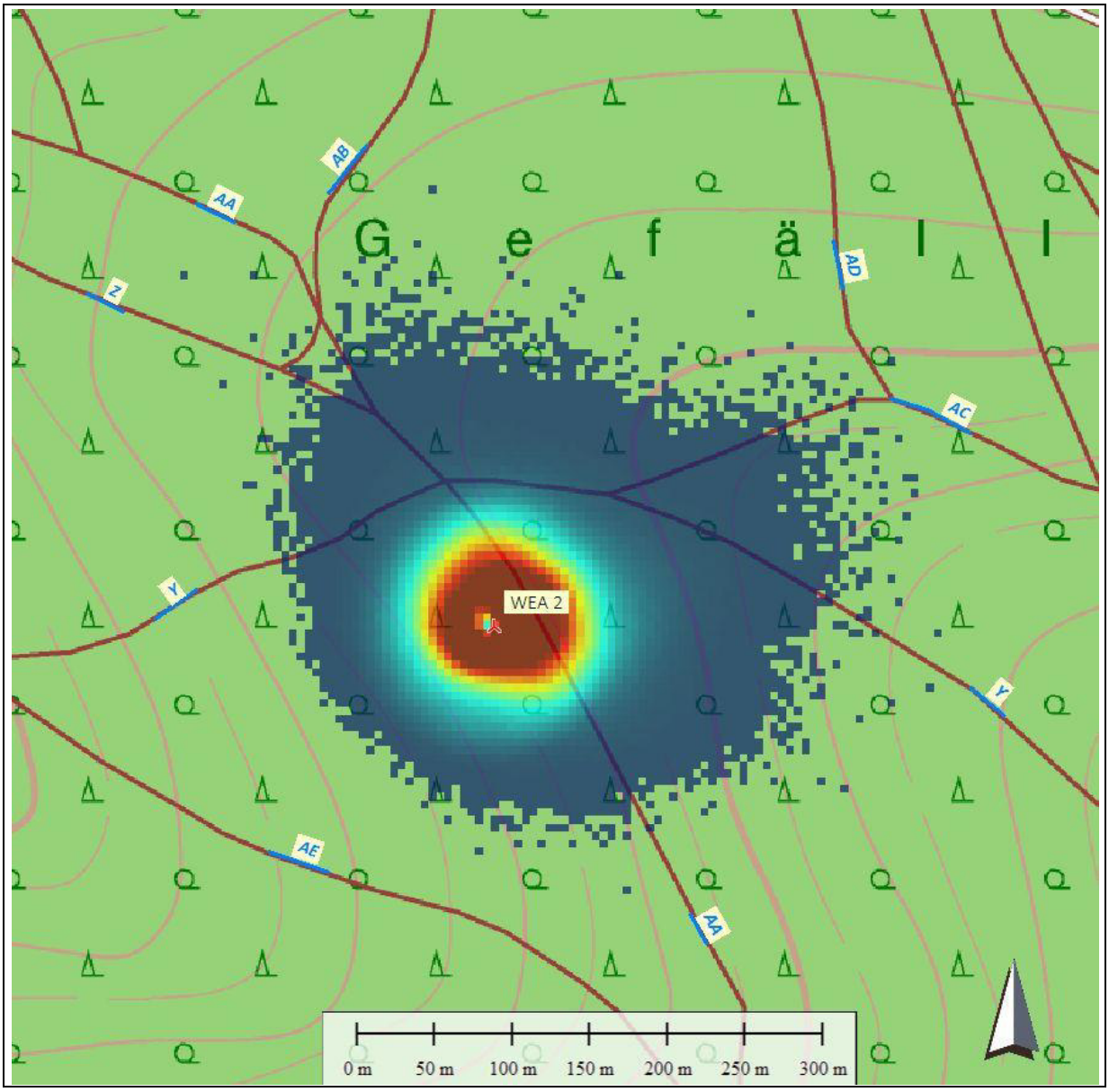

Abbildung 20: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 2 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirkbereich	Ergebnisse	Bewertung
Y	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
Z	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AA	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AB	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AC	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AD	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AE	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar

Tabelle 18: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 2.**

Industrie Service

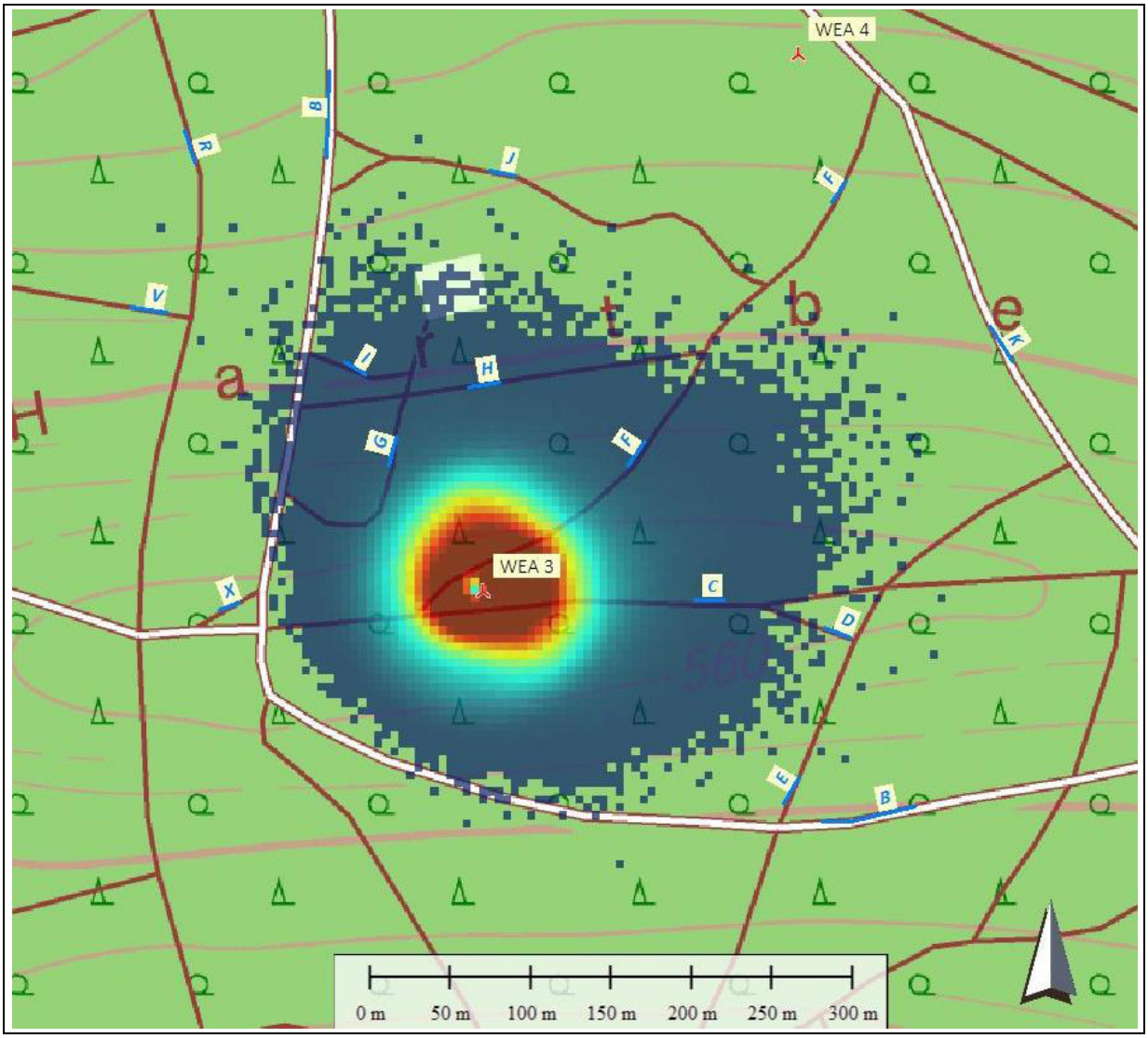

Abbildung 21: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 3 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirkbereich	Ergebnisse	Bewertung
B	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
C	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
D	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
E	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
F	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
G	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
H	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
I	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
J	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
K	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
R	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
V	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
X	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 19: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 3.**

Industrie Service

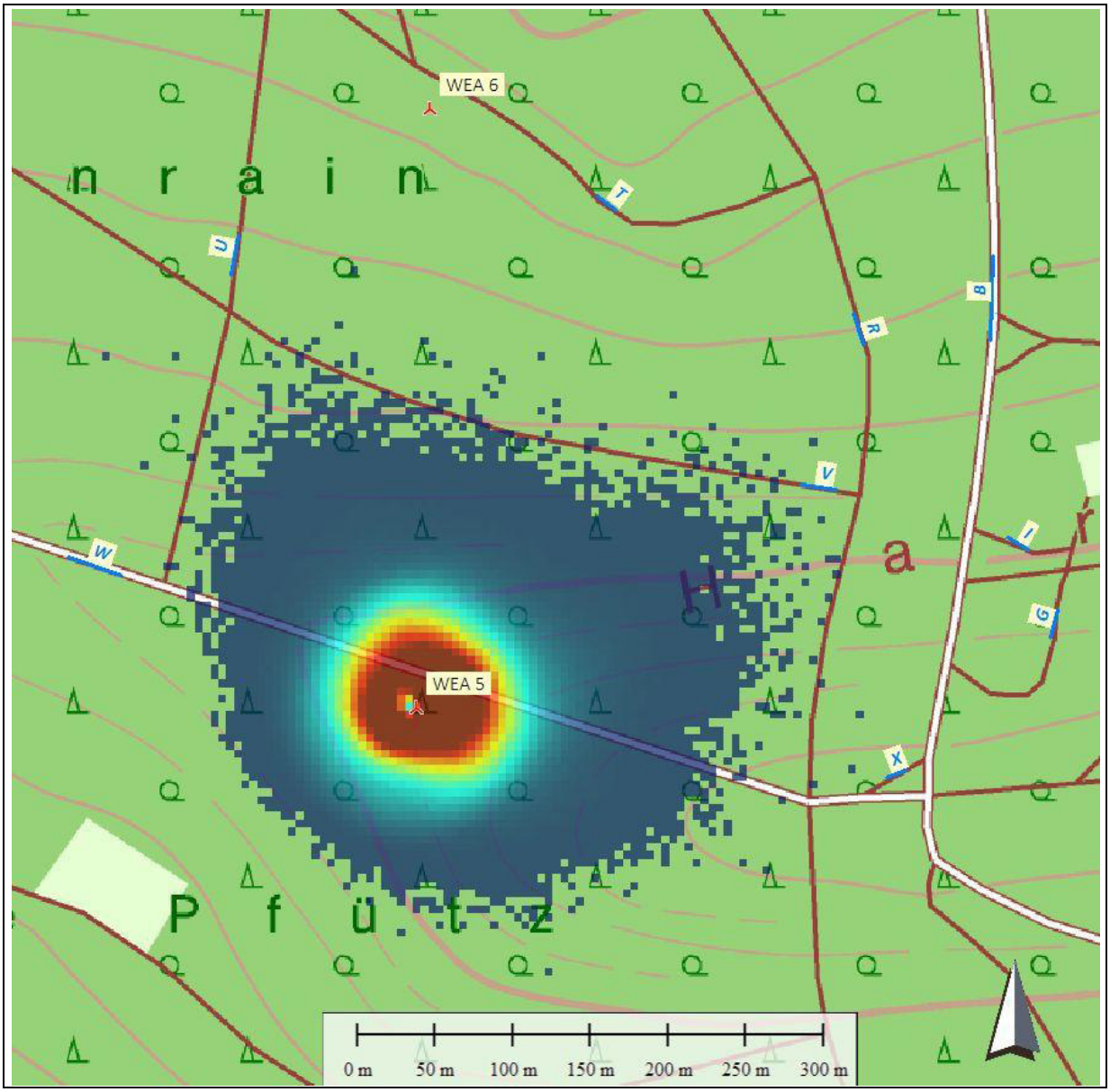

Abbildung 22: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 5 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirkbereich	Ergebnisse	Bewertung
B	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
R	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
T	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
U	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
V	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
W	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
X	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 20: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 5.**

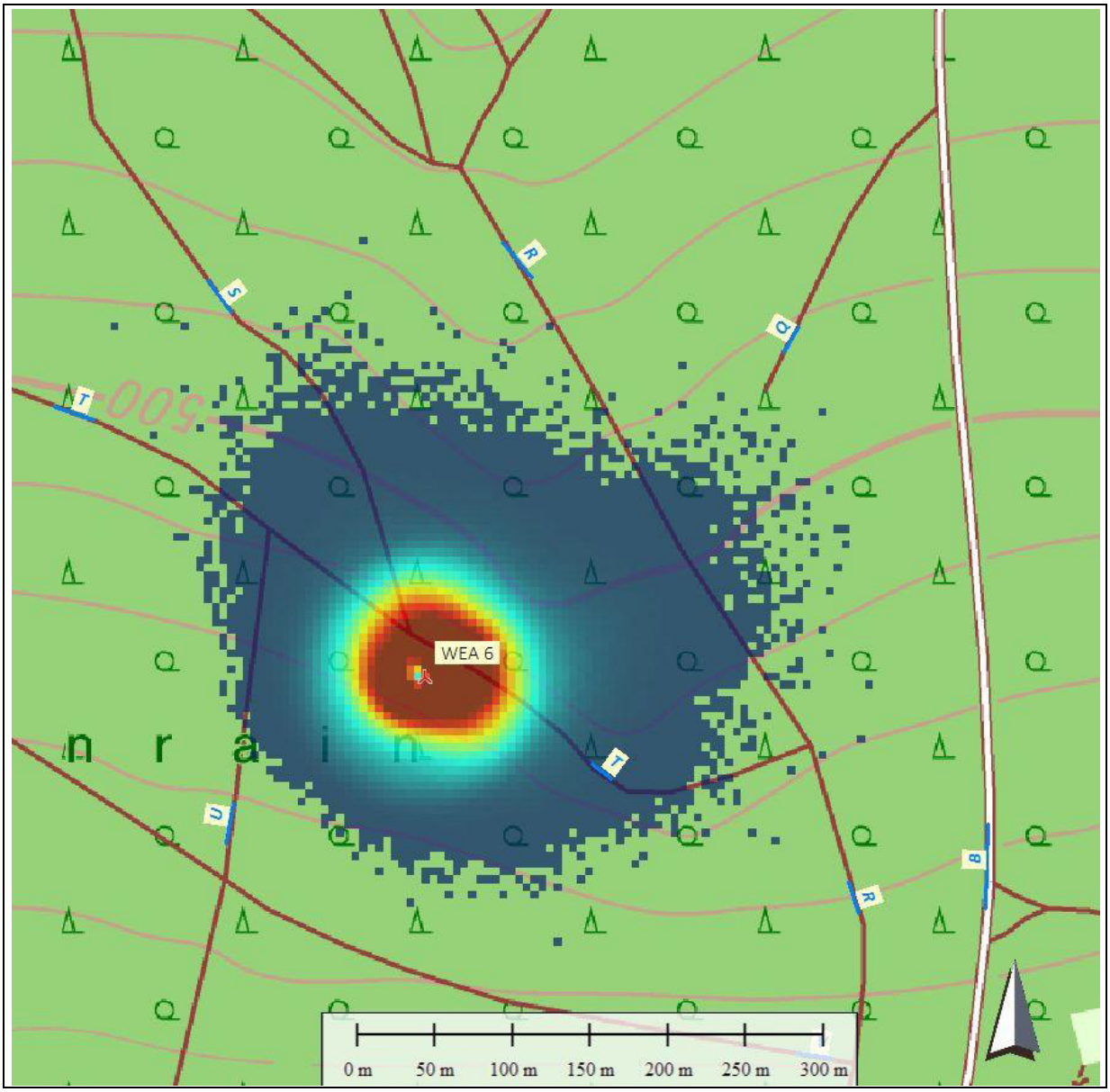

Abbildung 23: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 6 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirkbereich	Ergebnisse	Bewertung
B	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
Q	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
R	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
S	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
T	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
U	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen

Tabelle 21: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 6.**

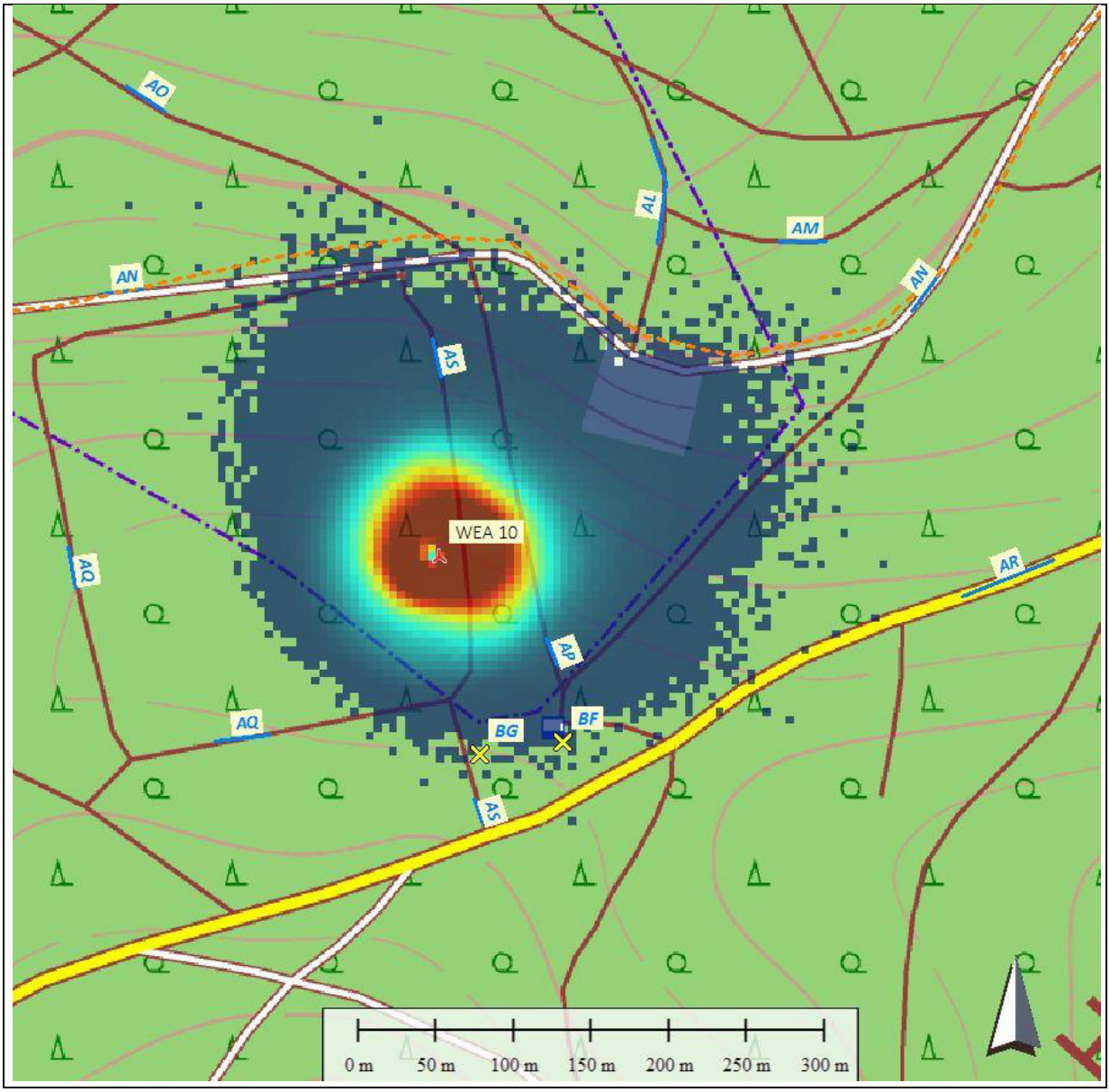

Abbildung 24: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 10 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AL	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AM	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AN	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AO	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AP	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AQ	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering
AR	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AS	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BF	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BG	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 22: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 10.**

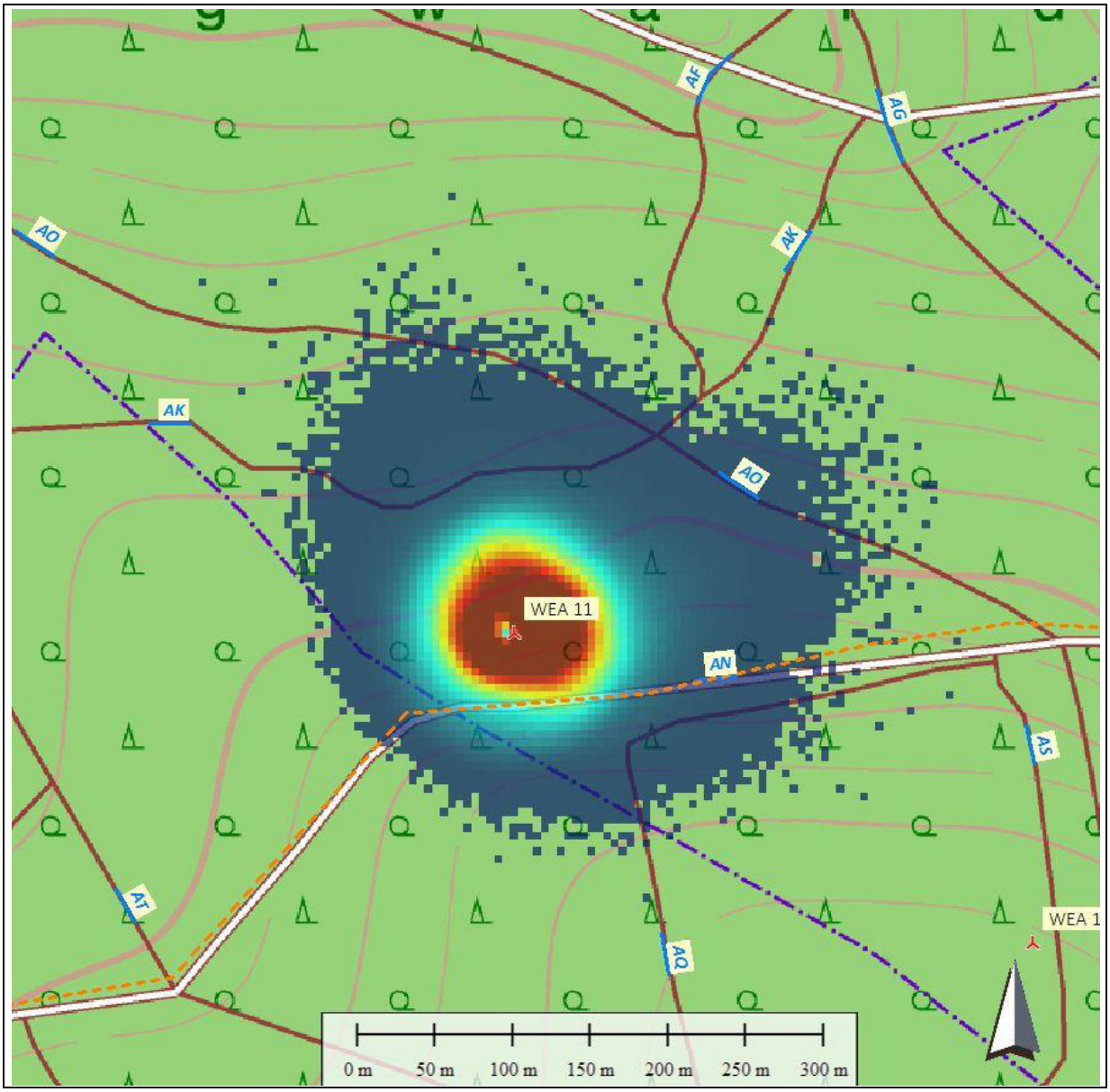

Abbildung 25: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 11 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AF	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AK	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AN	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AO	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AQ	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AS	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar

Tabelle 23: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 11.**

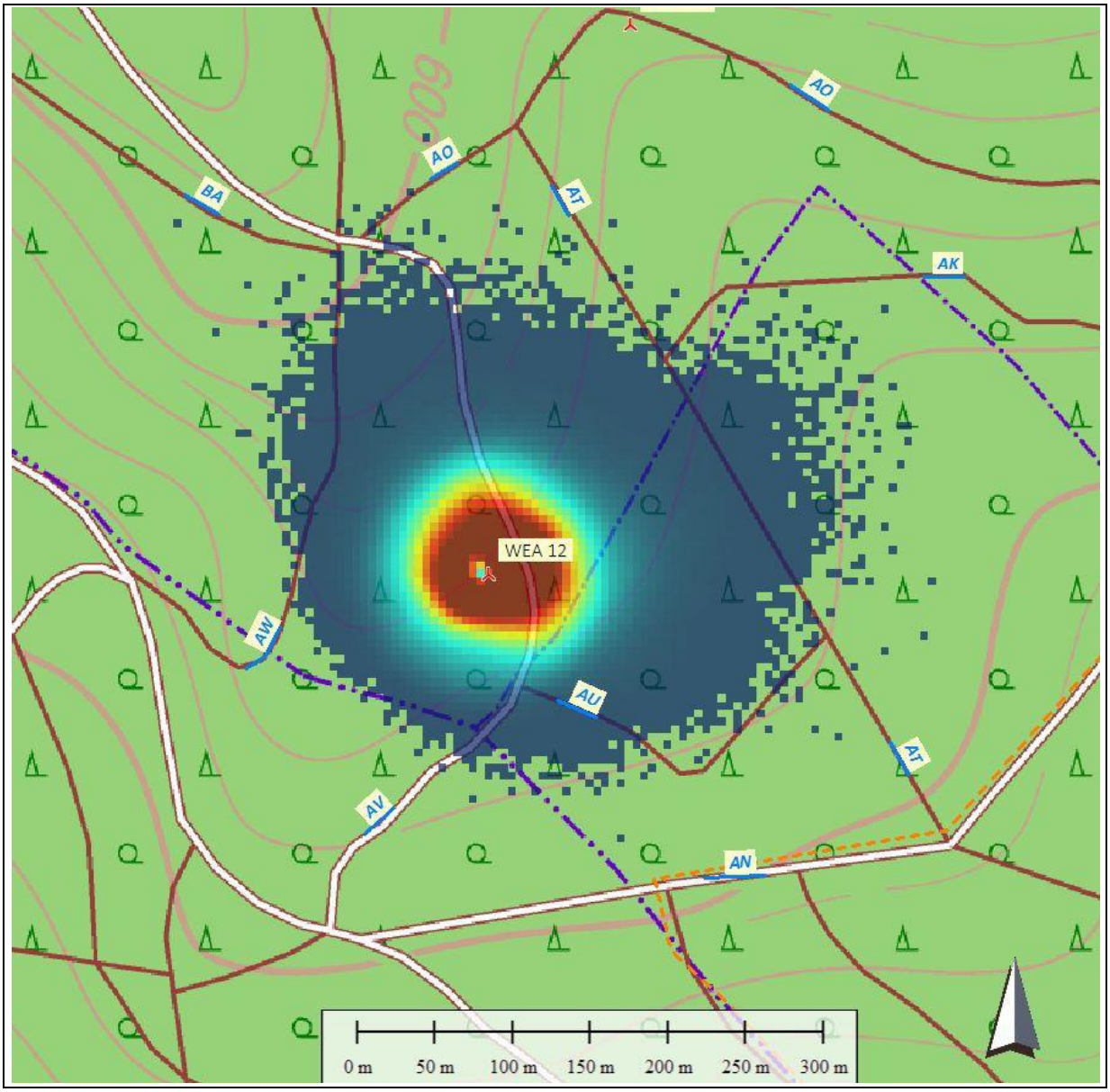

Abbildung 26: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 12 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AK	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AN	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AO	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AT	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
AU	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
AV	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AW	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
BA	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 24: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 12.**

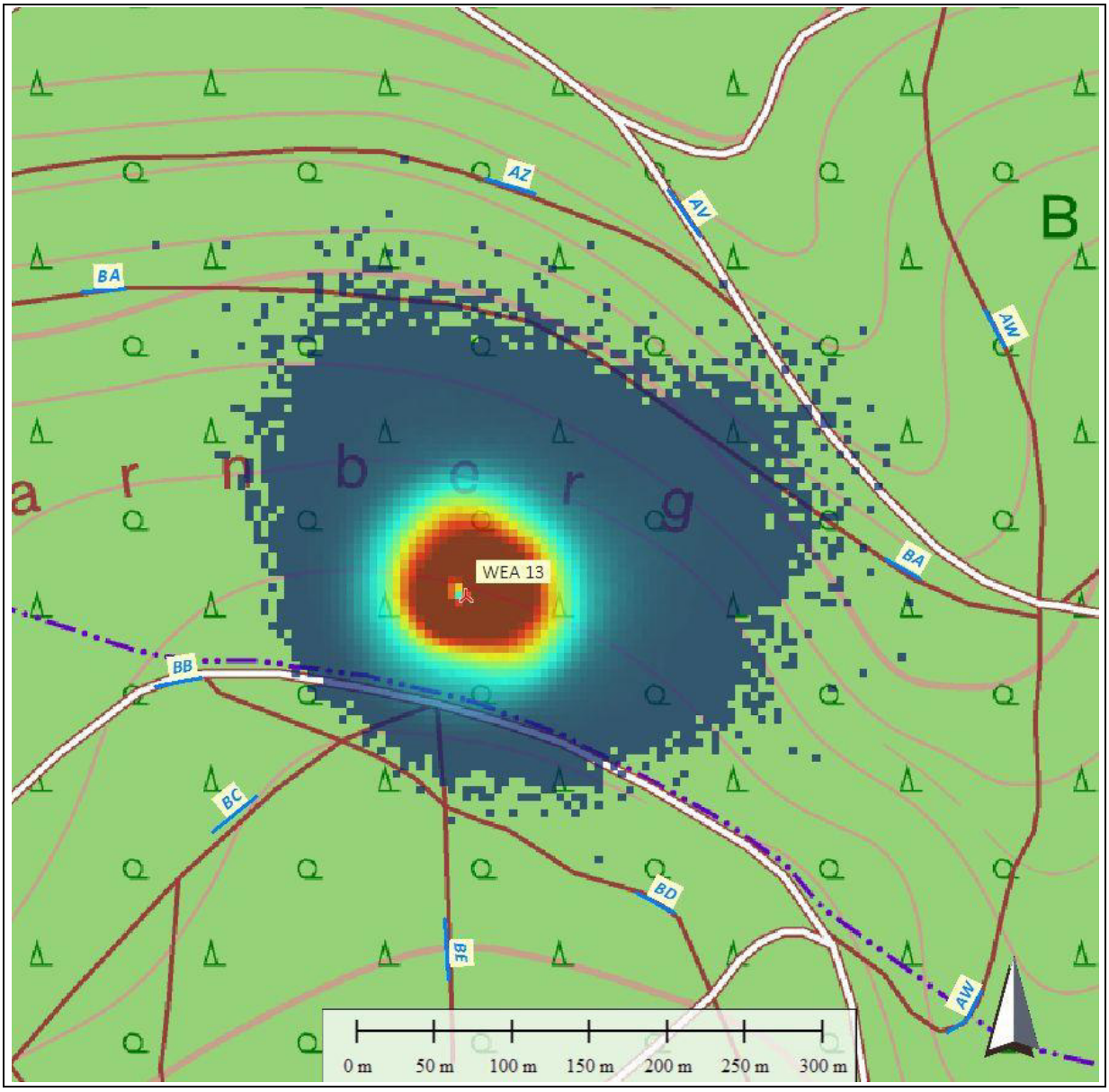

Abbildung 27: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 13 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AV	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AW	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AZ	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BA	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BB	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
BC	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen
BD	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
BE	Abschnitt reicht in Bereich mit höheren Treff.häufigkeiten	Gefährdung nicht auszuschließen

Tabelle 25: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 13.**

Industrie Service

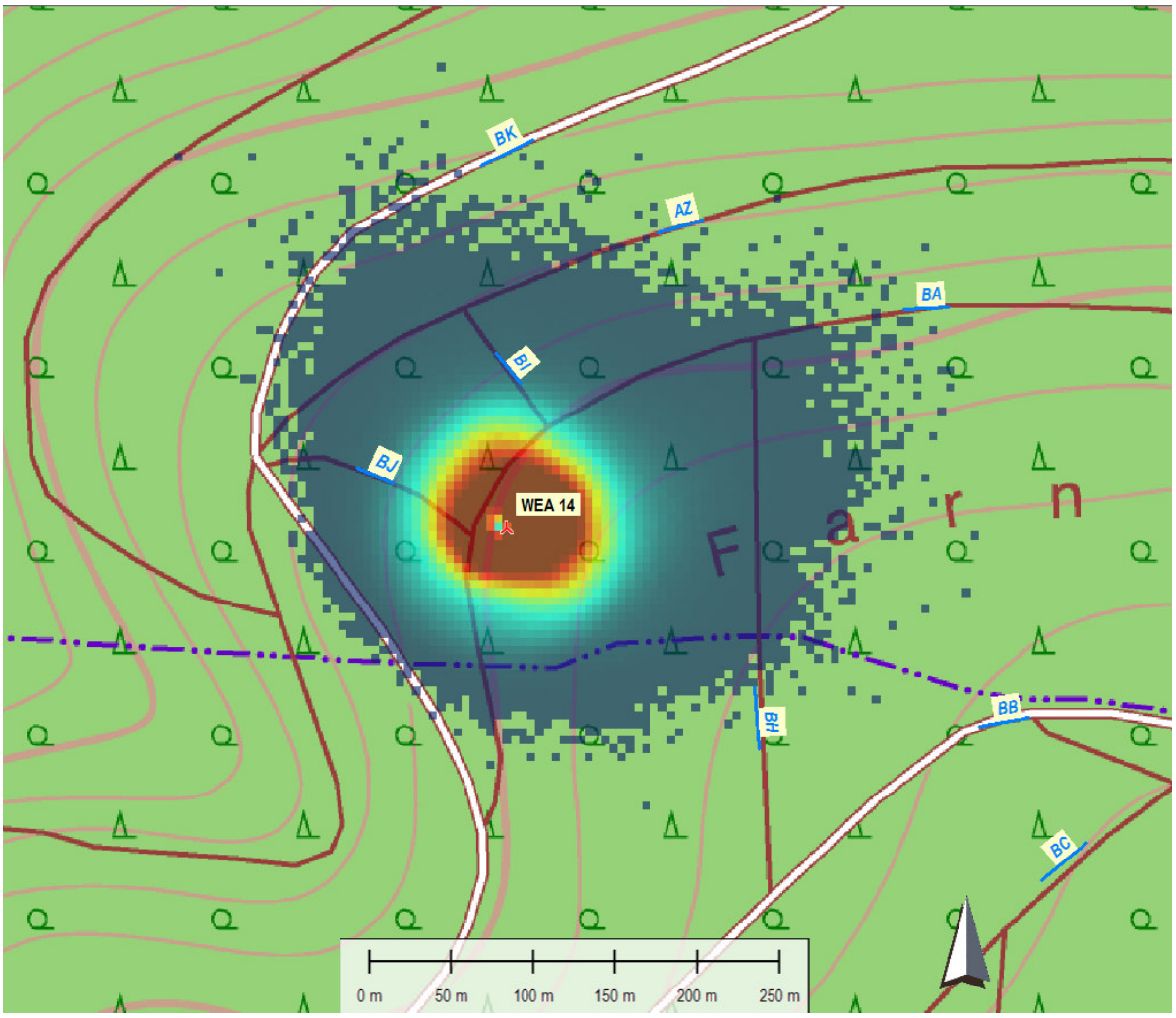

Abbildung 28: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 14 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AZ	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
BA	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BB	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
BH	eher geringere Trefferhäufigkeiten, jedoch ⇢	Gefährdung nicht auszuschließen
BI	Abschnitt nahe des Rotorradius, hohe Treff.häufigk.	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BJ	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
BK	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 26: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 14.**

Industrie Service

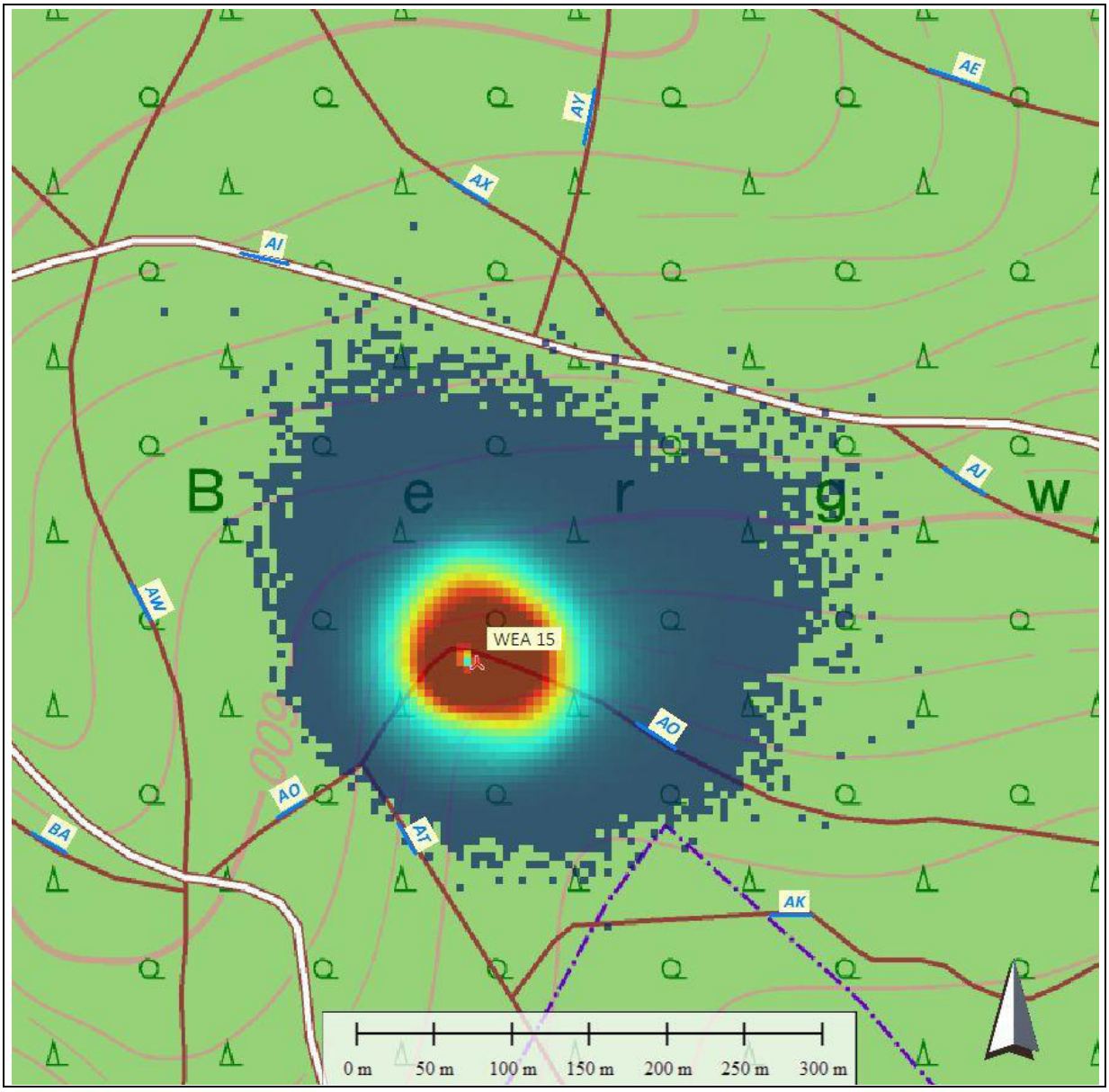

Abbildung 29: **Simulierte Fallweiten für Szenario A (Raureif mit 90 g) am Standort der WEA 15 im Windpark Straubenhardt.**

Wege im Einwirk-bereich	Ergebnisse	Bewertung
AI	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AJ	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AK	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AO	Abschnitt im Rotorbereich, hohe Trefferhäufigkeiten	erhöhtes Gefährdungspotenzial
AT	sehr geringe Trefferhäufigkeiten bzw. nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AW	keine Treffer	Gefährdungspotenzial vernachlässigbar
AX	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar
AY	nur Einzeltreffer	Gefährdungspotenzial sehr gering bzw. vernachlässigbar

Tabelle 27: **Zusammenfassung zur Bewertung der Wege um die geplante WEA 15.**

5.3 Bewertung der Ergebnisse

WEA 1

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 19 mit Tabelle 17)

Die Wege AA und AE verlaufen in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 1, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Abschnitte der Wege AF und AG reichen in einen Eisfallbereich mit höheren Trefferhäufigkeiten, wobei eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen werden die Wege Y und AI nur durch Einzeltreffer erreicht. Die Wege AH, AJ und AK befinden sich bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 1 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 2

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 20 mit Tabelle 18)

Der Weg AA verläuft in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 2, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Ein Abschnitt des Weges Y führt in einem Eisfallbereich mit höheren Trefferhäufigkeiten durch, wobei eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Der Weg AC verläuft zwar in einem Eisfallbereich mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verläuft der Weg Z am Rande des ermittelten Eisfallbereichs mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten. Die Wege AB und AD werden nur durch Einzeltreffer erreicht. Der Weg AE befindet sich sogar bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 2 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 3

(siehe Abbildungen 7 bis 10 sowie Abbildung 21 mit Tabelle 19)

Die Wege C und F verlaufen in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 3, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Der Weg G führt in einem Eisfallbereich mit höheren Trefferhäufigkeiten durch, wobei eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Die Wege H und I verlaufen zwar in Eisfallbereichen mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verlaufen die Wege B und D am Rande des ermittelten Eisfallbereichs mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten. Die Wege E, J, R, V und X werden nur durch Einzeltreffer erreicht. Der Weg K befindet sich sogar bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 3 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 5

(siehe Abbildungen 7 bis 10 sowie Abbildung 22 mit Tabelle 20)

Der Weg W verläuft in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 5, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verläuft der Weg V am Rande des ermittelten Eisfallbereichs mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten. Die Wege R, U und X werden nur durch Einzeltreffer erreicht. Der Weg T befindet sich sogar bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 5 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 6

(siehe Abbildungen 7 bis 10 sowie Abbildung 23 mit Tabelle 21)

Die Wege S und T verlaufen in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 6, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Die Wege R und U verlaufen zwar in Eisfallbereichen mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen befinden sich die Wege B und Q außerhalb des ermittelten Eisfallbereichs. Das von der WEA 6 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 10

(siehe Abbildungen 11 bis 14 und 15 bis 18 sowie Abbildung 24 mit Tabelle 22)

Die Wege AP und AS verlaufen in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 10, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Die Landesstraße L339 (AR) verläuft zwar im äußersten Randbereich des berechneten Eisfallbereichs mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen befinden sich die Wege AN und AQ und die Gebäude BF und BG in Eisfallbereichen mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten, die Wege AL, AM und AO werden sogar nur durch Einzeltreffer erreicht. Das von der WEA 10 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 11

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 25 mit Tabelle 23)

Der Weg AN, der auch einen Abschnitt des Wanderweges *Westweg* bildet, verläuft in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 11, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Die Wege AK und AQ führen in Eisfallbereichen mit höheren Trefferhäufigkeiten durch, wobei eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Der Weg AO verläuft zwar in einem Eisfallbereich mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen wird der Weg AF nur durch Einzeltreffer erreicht und der Weg AS ist sogar durch keine Treffer betroffen. Das von der WEA 11 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 12

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 26 mit Tabelle 24)

Der Weg AV verläuft in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 12, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Ein Abschnitt des Weges AU reicht in einen Eisfallbereich mit höheren Trefferhäufigkeiten, wobei eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Die Wege AT und AW verlaufen zwar in Eisfallbereichen mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verläuft der Weg AK in einem Eisfallbereich mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten. Die Wege AO und BA werden nur durch Einzeltreffer erreicht. Der Weg AN befindet sich sogar bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 12 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 13

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 27 mit Tabelle 25)

Abschnitte der Wege BB, BC und BE reichen in Eisfallbereiche mit höheren Trefferhäufigkeiten, wobei eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verläuft der Weg BA in einem Eisfallbereich mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten. Die Wege AV, AZ und BD werden nur durch Einzeltreffer erreicht. Der Weg AW befindet sich sogar bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 13 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 14

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 28 mit Tabelle 26)

Die Wege BA und BJ verlaufen in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 14 und der Weg BI verläuft sehr nah der auf den Boden projizierten Rotorfläche, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Die Wege AZ und BH verlaufen zwar in einem Eisfallbereich mit eher geringeren Trefferhäufigkeiten, jedoch kann eine potenzielle Gefährdung anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Eine Aussage zur Bewertung des Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verläuft der Weg BK am Rand des ermittelten Eisfallbereichs mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten, der Weg BB wird durch keine Treffer erreicht. Das von der WEA 14 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

WEA 15

(siehe Abbildungen 11 bis 14 sowie Abbildung 29 mit Tabelle 27)

Der Weg AO verläuft in der auf den Boden projizierten Rotorfläche der WEA 15, in der hohe Trefferhäufigkeiten berechnet wurden. Hierbei ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial auszugehen. Eine Aussage zur Bewertung des damit verbundenen Risikos sowie zu eventuell notwendigen Maßnahmen wird im Rahmen der Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) getroffen.

Dagegen verläuft der Weg AT in einem Eisfallbereich mit sehr geringen Trefferhäufigkeiten. Die Wege AI, AK, AX und AY werden nur durch Einzeltreffer erreicht. Die Wege AJ und AW befinden sich bereits außerhalb des berechneten Eisfallbereichs. Das von der WEA 15 ausgehende Gefährdungspotenzial für diese Wege kann als sehr gering bzw. vernachlässigbar eingestuft werden.

Die Kreisstraße K4551 (A) verläuft deutlich außerhalb des berechneten Eisfallbereichs der untersuchten Anlagen. Die potenzielle Gefährdung durch Eisfall ausgehend von dem geplanten Windpark Straubenhardt kann somit als vernachlässigbar eingestuft werden.

Industrie Service

6 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 3.3), wurden die Berechnungen bei einer im Trudelbetrieb befindlichen Anlage durchgeführt. Eine Berechnung von Wurfweiten während des laufenden Betriebs fand nicht statt.
- Als Eingangsparameter für den Trudelbetrieb wurde die vom Anlagenhersteller mitgeteilte, maximal zu erwartende Umdrehungszahl von 3.11 U/min verwendet [26].
- 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 der standortspezifischen Windmessung mit Unsicherheiten verbunden. Die Unsicherheitsbetrachtung der für die Simulationen verwendeten Windstatistik beruht auf den Unsicherheiten des Windgutachtens [6].
- 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.
- In Bereichen mit steil abfallendem Gelände können Eisstücke durch Verlassen der Projektion der Treffer auf eine Ebene in der Realität leicht größere Fallweiten erreichen. Jedoch ist in den Berechnungsergebnissen eine Unsicherheitsbetrachtung implementiert, wodurch bereits vergrößerte Fallweiten und damit konservativere Ergebnisse berechnet wurden.
- Es ist ebenfalls 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.
- Aus den Berechnungsergebnissen geht hervor, dass mehrerer an den geplanten Anlagen vorbeiführenden Waldwege sowie die an der WEA 10 vorbeiführende Landesstraße L339 und die als Untersuchungsobjekte betrachteten Gebäude innerhalb des ermittelten Bereiches mit möglichem Eisfall liegen, wo eine Gefährdung sowohl durch Eisstücke, die leichte Verletzungen verursachen können (Szenarien A und C) als auch Eisstücke, die zu tödlichen Folgen führen können (Szenarien B und D), anhand der hier vorliegenden Ergebnisse nicht auszuschließen ist. Dieses Risiko wird im Rahmen einer für den Standort durchgeführten Risikoanalyse (MS-1309-173-BW-de, Rev.14) genauer quantifiziert.

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 wird keine Haftung oder Gewähr für die Ergebnisse übernommen.

Industrie Service

7 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-1506-243-BW REV.1, Regensburg, 30.06.2015

[4] WIRCON GmbH im Namen der Wirsol Windpark Straubenhardt GmbH & Co. KG, Beauftragung Eisfall- und Risikoanalyse für WP Straubenhardt, 01.07.2015

[5] Simon Schunter, WIRCON GmbH im Namen der Wirsol Windpark Straubenhardt GmbH & Co. KG, Koordinaten des Windparks Straubenhardt, E-Mail vom 14.07.2015

[6] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Unabhängiges Windgutachten für den Standort Straubenhardt, MS-1309-173-BW-de, Rev.11 vom 30.03.2015

[7] C. Morgan and E. Bossanyi, Wind turbine icing and public safety - a quantifiable risk?, Proceedings of Boreas III conference, Sariselka, Finland 1996

[8] E. Bossanyi and C. Morgan, Wind turbine icing – its implications for public safety, Proceedings of European Union Wind Energy Conference 1996

[9] C. Morgan, E. Bossanyi and H Seifert, Assessment of safety risks arising from wind turbine icing, Proceedings of EWEC '97 conference, Dublin 1997

[10] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Richtlinie für Windenergieanlagen, Berlin (D), 2004

[11] OVG-Rheinland-Pfalz, Urteil 1 A 11330/07.OVG vom 29.10.2008

[12] René Cattin, Alpine Test Site Guetsch – Handbuch und Fachtagung (Schlussbericht), Bern, 31.12.2008

[13] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Windenergienutzung – Technik, Planung und Genehmigung, Stuttgart, 4. Auflage, August 2003

[14] 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

[15] Richtlinie für Windenergieanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, DIBT, 2004

[16] 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

[17] Anlage 2.7/12 der Liste der als Technische Baubestimmungen zur Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Bekanntmachung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft im Einvernehmen mit dem Ministerium für Verkehr und Infrastruktur über die Liste der Technischen Baubestimmungen, Baden-Württemberg, 14.11.2014, Az.: 45-2601.1/45

[18] Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 18. Auflage

[19] Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, TOP10 Ortsplan 1:10'000 Baden-Württemberg, Version 1, 2008

[20] Simon Schunter, WIRCON GmbH im Namen der Wirsol Windpark Straubenhardt GmbH & Co. KG, Informationen zum Wegesystem am Standort Straubenhardt, per E-Mail vom 14.07.2015 und 22.07.2015, Anhang: *121029_Angebotskarten_Windpark Straubenhardt-LKW-befahrbare-Waldwege.pdf, 20131016_WP Straubenhardt Vorantragskonferenz_wanderwege.pdf, OnlinePortal Wanderwege.jpg*

[21] Susanne Alte, ALTUS Aktiengesellschaft, Informationen zum Gebäude an der WEA 10, per E-Mail vom 11.08.2015

[22] Dietrich Auer, Gemeinde Straubenhardt, Informationen zum Gebäude an der WEA 10, per E-Mail vom 11.08.2015

[23] Siemens AG, Beschreibung des Eiserkennungssystems, E-Mail vom 24.01.2013, Anhang: SWT, Funktionsweise bei Eisansatz Rev. 0.pdf

[24] Marcas Breatnach, Siemens AG, Beschreibung des Eiserkennungssystems, E-Mail vom 03.12.2014, Anhang: 14. SWT, Vereisungsgefahren und Enteisungssysteme Rev2.pdf

[25] Marcas Breatnach, Siemens AG, Stellungnahme zur Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems durch DNV, E-Mail vom 03.12.2014, Anhang: Siemens Eiserkennungssystem Deutschland 2012-12-19.pdf

[26] Moritz Rodenhausen, Siemens AG, Umdrehungszahl bei Trudelbetrieb, E-Mail vom 14.02.2013

8 Anhang

8.1 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Einheit	Bedeutung
A	[m/s]	Skalenparameter der Weibullverteilung
b	[-]	Böe
BIN	[-]	Binäre Intervall-Schachtelung
cm	[-]	Zentimeter
c_p	[-]	Leistungsbeiwert
c_t	[-]	Schubbeiwert
D	[m]	Rotordurchmesser
E	[MWh]	Energie, Jahresenergie
E_f	[kWh/m^2/a]	Energiefluss, Mittlere Energiedichte
frei	[-]	freie Anströmungsbedingungen
h	[-]	hour, Stunde
HEP	[-]	Horizontale Extrapolation
hi	[%]	Häufigkeit im Intervall i
HW	[-]	Hochwert
i	[-]	Intervall
I	[-]	Turbulenz, Turbulenzintensität
IEC	[-]	International Electronical Commission
J	[-]	Jahr
k	[-]	Formparameter der Weibullverteilung
LK	[-]	Leistungskennlinie
LZK	[-]	Langzeitklima
min	[-]	minute, Minute
Mode	[-]	Modus, Einstellung
N	[-]	Nord, nördlich
NH	[m]	Nabenhöhe
NN	[-]	Normal Null
O	[-]	Ost, östlich
P	[kW]	Leistung
P_f	[W/m^2]	Mittlere Leistungsdichte, Leistungsfluss
R	[m]	Rotorradius
RW	[-]	Rechtswert
s	[-]	second, Sekunde
S	[-]	Süd, südlich
Sek, sec	[deg]	Windrichtungssektor
SN	[-]	Seriennummer
U	[-]	Unsicherheit
v	[m/s]	Windgeschwindigkeit
VEP	[-]	Vertikale Extrapolation
W	[-]	West, westlich
wake	[-]	Nachlaufströmung
WEA	[-]	Windenergieanlage
x	[-]	Entfernung
r	[kg/m^3]	Luftdichte
s	[m/s]	Standardabweichung
h	[-]	Wirkungsgrad, Parkwirkungsgrad

Vereisungsgefahren und Enteisungssysteme Siemens-Windenergieanlagen

Allgemeines
Eisansatz an Rotorblättern und meteorologischen Messinstrumenten stellen potenzielle Risiken für den Betrieb einer Windenergieanlage (WEA) dar. Drei Problembereiche sind hier von Bedeutung:

- Eisschlag von den Rotorblättern kann ein Sicherheitsrisiko darstellen
- Vereiste meteorologische Messinstrumente können unnötige Abschaltungen der WEA zur Folge haben
- Vereiste Rotorblätter können die Ausgangsleistung deutlich verringern und erhöhte Schwingungen hervorrufen.

Vereisungsarten
An Rotorblättern können drei verschiedene Vereisungsarten beobachtet werden: Raureif, Raueis und Klareis.

Raureif entsteht ähnlich wie Tau, allerdings bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Der Raureifbildung zugrundeliegende physikalische Prozess wird als Sublimation bezeichnet (direkte Umwandlung von Wasserdampf zu Eis). Raureif kann auch durch Gefrieren bereits vorhandener Tauablagerungen entstehen. Die lockere weiße Ablagerung besteht zum größten Teil aus amorphen Kristallen. Sie stellt keinerlei Gefahr dar.

Raueis bildet sich durch das Gefrieren unterkühlter und sehr kleiner Wassertropfen. Die milchig graue raue Oberfläche ähnelt dem Raureif, wobei die Eiskörner mehr oder weniger durch Lufteinschlüsse voneinander getrennt sind. Durch das Gefrieren unterkühlter Nebelwassertröpfchen bildet sich an Objekten vornehmlich an der dem Wind zugewandten Seite und zumeist an Spitzen oder Kanten Raueis. In tief gelegenen Ländern sind Raueisschichten in der Regel sehr dünn und leicht und stellen deshalb keinerlei Gefahr dar. In Höhenlagen werden WEA allerdings durchaus innerhalb der Wolkendecke betrieben, sodass Raueisschichten hier häufig sehr dicht, hart und stark werden und an der Anströmkante der Rotorblätter Stärken von 10 cm und mehr aufweisen können. Solche Raueisablagerungen stellen im Betrieb der WEA eine Gefahr dar.

Klareis weist eine homogenere Struktur auf; es bildet sich eine in der Regel durchsichtige und glatte Eisschicht durch das Gefrieren von unterkühltem Nieselregen oder unterkühlten Regentropfen auf Gegenständen, deren Oberfläche eine Temperatur von etwa 0 °C aufweist. Klareis kann allerdings auch durch das Auftreffen von Tropfen mit einer Temperatur über dem Gefrierpunkt auf Oberflächen entstehen, deren Temperatur weit unter dem Gefrierpunkt liegt. Aufgrund seiner hohen Dichte und der möglichen Schichtstärke von mehreren Zentimetern stellen Eisablagerungen in Form von Klareis im Betrieb der WEA eine Gefahr dar.

Eisschlag von vereisten Rotorblättern wurde schon in mehr als 100 m Entfernung von Windenergieanlagen gefunden.

Sicherheitsmaßnahmen
Wir haben die Erfahrung gemacht, dass Windfahnen und/oder Windgeschwindigkeitsmesser ohne Enteisungssystem in der Regel bereits in ihrer Funktion beeinträchtigt sind, wenn die Raueis- oder Klareisschichtstärke noch keine wirkliche Gefahr darstellt. Anders gesagt, die Messinstrumente dienen als Warnsysteme.

Wenn die Windfahne in einer bestimmten Position festfriert, hält die WEA mit der Störungsmeldung "Windfahne gestört" an. Wenn der Windgeschwindigkeitsmesser infolge von Eisbildung in seiner Funktion

© 2012. Alle Rechte vorbehalten.

signifikant beeinträchtigt ist, wird sich die vom Controller auf der Grundlage der gemessenen Windgeschwindigkeit veranschlagte Ausgangsleistung wesentlich von der gemessenen Ist-Ausgangsleistung unterscheiden. Daraufhin wird die WEA mit der Störungsmeldung "Windgeschwindigkeitsmesser gestört" angehalten.

Andererseits haben wir auch die Erfahrung gemacht, dass die Windfahne und/oder der Windgeschwindigkeitsmesser mitunter durch Abtauen oder Verdampfen der auf ihnen lagernden Eisschicht wieder betriebsbereit gemacht werden können, noch bevor sich die Eisschicht auf dem Rotorblatt auf ein unbedeutendes Maß zurückgebildet hat. Aus diesem Grund raten wir in der Regel zu folgenden Sicherheitsmaßnahmen:

- Wenn der Windpark weniger als 150 m von Wohngebäuden oder öffentlichen Verkehrswegen entfernt ist, muss die Gefahr von Eisschlag in Betracht gezogen werden.
- Wenn eine WEA wegen Vereisung der Windfahne und/oder des Windgeschwindigkeitmessers angehalten hat, muss von einer potenziellen Gefährdung des Projekts ausgegangen werden. Aus diesem Grund muss ein kontrolliertes Rücksetzen der Windenergieanlagen erfolgen.
- Manuelles Rücksetzen ist unter der Voraussetzung zulässig, dass nach Sichtprüfung vom Boden durch den für das Rücksetzen zuständigen Techniker an den Rotorblättern aller WEA keine sicherheitsrelevanten Eisablagerungen festgestellt werden.
- Fernrücksetzen der WEA ist nur dann zulässig, wenn:
  - bei Sichtprüfung vom Boden durch eine Person vor Ort an den Rotorblättern aller WEA keine sicherheitsrelevanten Eisablagerungen festgestellt werden oder
  - die Umgebungstemperatur länger als 3 Stunden über +3 °C bzw. länger als 1 Stunde über +5 °C lag.

Nach unseren Erfahrungen sollten die vorstehend genannten Sicherheitsmaßnahmen ausreichen, um den Betrieb mit gefährlichen Eisablagerungen auf den Rotorblättern zu vermeiden.

Meteorologische Messinstrumente
Die meteorologischen Messinstrumente (Windfahne und Windgeschwindigkeitsmesser) sind als Standard- und als vereisungssichere Version erhältlich.

Meteorologische Messinstrumente in Standardausführung sind nicht mit einem Enteisungssystem ausgestattet. Diese bewährten Instrumente sind außerordentlich robust und eignen sich für alle normalen Anwendungen.

Vereisungssichere meteorologische Messinstrumente sind jeweils mit integrierten Heizelementen ausgestattet. Integrierte Thermostate regeln die einzelnen Heizelemente und halten die Temperatur auf dem im WEA-Controller per Parametrierung festgelegten Sollwert. Somit können die wichtigen Oberflächen der Instrumente nicht vereisen. Da zum Einschalten des Enteisungssystems kein Personal vor Ort erforderlich ist, müssen besondere Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Bei Windenergieanlagen in der Nähe von Gebäuden, Verkehrswegen oder anderen häufig frequentierten Bereichen rät Siemens Wind Power grundsätzlich vom Einsatz wärmeaktivierter Enteisungssystemen ab.

Ausgangsleistung und Rotorblatt-Schwingungspegel
Durch zunehmende Vereisung der Rotorblätter ändern sich die aerodynamischen Eigenschaften. Dadurch sinkt die Ausgangsleistung und auch die Schwingungspegel können sich ändern.

Das integrierte Schwingungsüberwachungssystem der WEA verhindert zu starke, schädigende Schwingungen. Bei ansteigendem Schwingungspegel verringert die WEA die Rotordrehzahl und die Leistung und schaltet bei zu hohen Pegeln möglicherweise sogar komplett ab. Um Schäden an den Rotorblättern oder an anderen Komponenten zu vermeiden, muss die WEA in einem solchen Fall von Hand neu angefahren werden.

© 2012. Alle Rechte vorbehalten.

Siemens Wind Power Überwachung
Siemens Wind Power bietet zwei Arten von Überwachung während des Betriebes der WEA an: die Standardmethode und die alternative Methode. Generell wird die Standardmethode verwendet falls nicht der Kunde nach der alternative Methode fragt.
Standardmethode:
Die WEA wird unter allen Bedingungen mit der Begrenzung, dass die Sicherheit der Turbine bestehen bleibt, betrieben. Dies bedeutet, dass die WEA solange betrieben wird, solange die Schwingungspegel die Limits der WEA-Auslegung nicht überschreiten. Falls die WEA gestoppt wird, wird diese zurückgesetzt auf die Arbeitsweise maximaler Betrieb.
Alternative Methode:
Wie oben beschrieben, werden die standardmäßigen meteorologischen Messinstrumente zur Eiserkennung verwendet. Falls eine Abweichung zwischen den Windgeschwindigkeiten oder Windrichtungen festgestellt wird, wird die WEA mit der zugehörigen Störungsmeldung gestoppt. Die Turbine wird nicht wieder in Betrieb genommen, solange nicht ein der beiden folgenden Anforderungen erfüllt ist: 1) eine Vor-Ort-Besichtigung oder Kamerauntersuchung durch den Kunden oder eine durch den Kunden beauftragte Firma 2) die Temperatur war über drei Stunden über 3°C oder über eine Stunde über 5°C

Siemens Wind Power A/S behält sich das Recht vor, die obigen technischen Daten ohne Vorankündigung zu ändern.

© 2012. Alle Rechte vorbehalten.

Funktionsweise der Eiserkennungsysteme Siemens-Windenergieanlagen

Allgemeines
Eisansatz an Rotorblättern und meteorologischen Messinstrumenten stellen potenzielle Risiken für den Betrieb einer Windenergieanlage (WEA) dar. Drei Problembereiche sind hier von Bedeutung:

- Eisschlag von den Rotorblättern kann ein Sicherheitsrisiko darstellen
- Vereiste meteorologische Messinstrumente können unnötige Abschaltungen der WEA zur Folge haben
- Vereiste Rotorblätter können die Ausgangsleistung deutlich verringern und erhöhte Schwingungen hervorrufen.

Vereisungsarten
An Rotorblättern können drei verschiedene Vereisungsarten beobachtet werden: Raureif, Raueis und Klareis.

Raureif entsteht ähnlich wie Tau, allerdings bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Der Raureifbildung zugrundeliegende physikalische Prozess wird als Sublimation bezeichnet (direkte Umwandlung von Wasserdampf zu Eis). Raureif kann auch durch Gefrieren bereits vorhandener Tauablagerungen entstehen. Die lockere weiße Ablagerung besteht zum größten Teil aus amorphen Kristallen. Sie stellt keinerlei Gefahr dar.

Raueis bildet sich durch das Gefrieren unterkühlter und sehr kleiner Wassertropfen. Die milchig graue raue Oberfläche ähnelt dem Raureif, wobei die Eiskörner mehr oder weniger durch Lufteinschlüsse voneinander getrennt sind. Durch das Gefrieren unterkühlter Nebelwassertröpfchen bildet sich an Objekten vornehmlich an der dem Wind zugewandten Seite und zumeist an Spitzen oder Kanten Raueis. In tief gelegenen Ländern sind Raueisschichten in der Regel sehr dünn und leicht und stellen deshalb keinerlei Gefahr dar. In Höhenlagen werden WEA allerdings durchaus innerhalb der Wolkendecke betrieben, sodass Raueisschichten hier häufig sehr dicht, hart und stark werden und an der Anströmkante der Rotorblätter Stärken von 10 cm und mehr aufweisen können. Solche Raueisablagerungen stellen im Betrieb der WEA eine Gefahr dar.

Klareis weist eine homogenere Struktur auf; es bildet sich eine in der Regel durchsichtige und glatte Eisschicht durch das Gefrieren von unterkühltem Nieselregen oder unterkühlten Regentropfen auf Gegenständen, deren Oberfläche eine Temperatur von etwa 0 °C aufweist. Klareis kann allerdings auch durch das Auftreffen von Tropfen mit einer Temperatur über dem Gefrierpunkt auf Oberflächen entstehen, deren Temperatur weit unter dem Gefrierpunkt liegt. Aufgrund seiner hohen Dichte und der möglichen Schichtstärke von mehreren Zentimetern stellen Eisablagerungen in Form von Klareis im Betrieb der WEA eine Gefahr dar.

Eiserkennungsysteme an Siemens-WEA
Dieses Dokument beschreibt die Strategie und Systeme zur Eiserkennung an Siemens-WEA in Deutschland. Zur Eiserkennung werden folgende Systeme verwendet:

- Einfrieren der Windmessgeräte
- Kontrolle und Vergleich zwischen Ist- und Sollleistung
- Schwingungsüberwachung am Rotor

Die drei Systeme werden unabhängig voneinander zur Eiserkennung verwendet, wodurch diese redundant ausgelegt ist.

Die vorstehend genannten Sicherheitssysteme sind ausreichend, um einen Produktionsbetrieb der WEA bei Eisansatz auf den Rotorblättern zu verhindern.

© 2013. Alle Rechte vorbehalten.

Einfrieren der Windmessgeräte als natürliche Sicherheitsfunktion
Siemens-WEA nutzen das Einfrieren der mechanischen Windmessgeräte als natürliche Sicherheitsfunktion. Zur Windmessung werden standardmäßig ein beheiztes Ultraschall-Windmessgerät und ein im Produktionsbetrieb unbeheiztes mechanisches Windmesssystem verwendet, welches aus einem Windrichtungs- und einem Windgeschwindigkeitsmessgerät besteht. Beide Systeme sind auf dem Maschinenhaus installiert. Die mechanischen Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsmessgeräte sind so ausgeführt, dass sie bei Eisnebel oder Eisregen frühzeitig festfrieren. Bis zum Festfrieren der Messgeräte bildet sich nach langjähriger Erfahrung kein nennenswerter Eisansatz an den Rotorblättern. Hierzu tragen insbesondere die verwendeten Werkstoffe Messing und Edelstahl sowie ausgeformte Kanten am Übergang von rotierenden zu feststehenden Komponenten und ein nur sehr geringer Luftspalt bei.

Wenn die gemessene Außentemperatur unter 5°C fällt und die WEA sich im Produktionsbetrieb befindet, obwohl keine Bewegung eines der mechanischen Windmessgeräte mehr registriert wird, so wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Maschine automatisch gestoppt.
Die auftretenden Fehlermeldungen bei Vereisung der Windmessgeräte können zum Beispiel sein, dass die Windnachführung zu langsam ist, die Windfahne sperrt oder das Anemometer Fehler aufweist. Daraufhin wird die WEA mit einer Störungsmeldung gestoppt.

Zu beachten ist, dass ein Quittieren der Fehlermeldungen des Windmesssystems und ein Neustart der WEA nicht automatisch erfolgt. Es ist nicht zulässig, bei Temperaturen unterhalb von 5°C die o. g. Fehlermeldungen per Fernüberwachung zu quittieren und die WEA zu starten. Die Eisfreiheit der Rotorblätter und damit ein Neustart der WEA kann nur nach einer Sichtprüfung durch eine Person am Standort erfolgen. Nur so kann ausgeschlossen werden, dass sich ein möglicherweise vorhandener Eisansatz bei Anlauf der WEA von den Rotorblättern unkontrolliert löst.

Leistungsvergleich (Ist- und Sollleistung)
Der Controller von Siemens-WEA vergleicht die anhand der gemessenen Windgeschwindigkeit theoretisch errechnete Sollleistung mit der momentan gemessenen Istleistung. Wenn die Differenz zwischen Soll- und Istleistung einen definierten Wert überschreitet, wird die WEA mit einer Fehlermeldung gestoppt.
Gründe hierfür können die zunehmende Vereisung an der WEA sein, welche die aerodynamischen Eigenschaften des Blattes oder aber auch die Geschwindigkeit der mechanischen Windmesseinrichtungen beeinflussen kann.

Schwingungsüberwachung am Rotor
Das bei Siemens WEA als Standard integrierte Zustandsüberwachungssystem (Turbine Conditon Monitoring, TCM) überwacht an verschiedenen Messpunkten jederzeit die auftretenden Schwingungen und damit den Zustand der WEA. Unter anderem wird das TCM-System genutzt, um die Schwingungen in der Rotorebene zu erfassen. In Abbildung 1 sind die Messpunkte des TCM-Systems in der Rotorebene schematisch für eine getriebelose Siemens-WEA dargestellt. An ähnlicher Position befinden sich die Messpunkte aller Siemens-Windenergieanlagen.

© 2013. Alle Rechte vorbehalten.

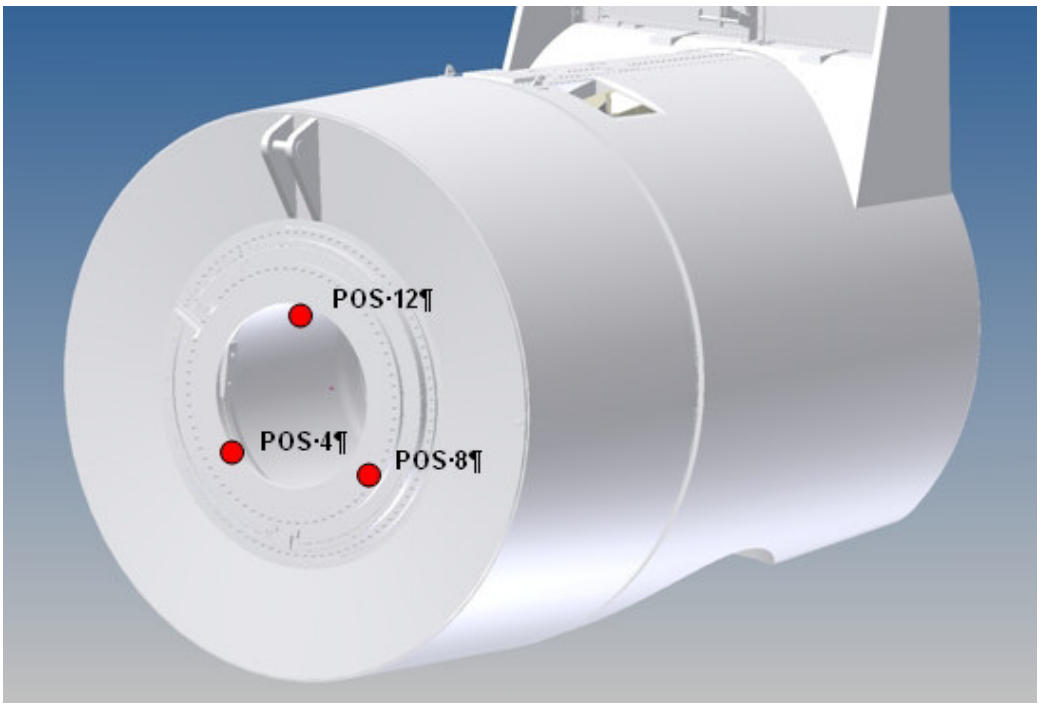

Abbildung 1: Messpunkte des TCM-Systems in der Rotorebene (Beispiel kleine getriebelose WEA)

Im Falle einer ungleichmäßigen Vereisung der Rotorblätter, führt dies zu einer Unwucht des Rotors und damit zu einem erhöhten Schwingungspegel.
Das Schwingungsüberwachungssystem der WEA erkennt und verhindert zu starke, schädigende Schwingungen. Bei ansteigendem Schwingungspegel verringert die WEA die Rotordrehzahl und die Leistung und schaltet bei zu hohen Pegeln sogar komplett ab. Um Schäden an den Rotorblättern oder an anderen Komponenten zu vermeiden, kann ein Neustart der WEA nur nach einer Sichtprüfung durch eine Person am Standort erfolgen.

Eisgefahren bei Stillstand der Windturbine
Solange der Rotor gebremst ist, kann z.B bei anhaltendem Eisregen ein weiterer Eisansatz entstehen, es besteht aber kein Unterschied zu anderen ruhenden Bauwerken. Bei einsetzendem Tauwetter kann der bis dahin entstandene Eisbesatz senkrecht herabfallen oder durch Wind auch fortgetragen werden.

An Standorten nahe öffentlicher Wege und Straßen empfiehlt Siemens zusätzlich die Montage von Hinweisschildern über möglichen Eisfall.

Start der WEA bei Eisfreiheit
Da es passieren kann, dass die Windfahne und/oder der Windgeschwindigkeitsmesser mitunter durch Abtauen oder Verdampfen der auf ihnen lagernden Eisschicht wieder betriebsbereit gemacht werden können, noch bevor sich die Eisschicht auf dem Rotorblatt auf ein unbedeutendes Maß zurückgebildet hat, empfiehlt Siemens in der Regel zu folgenden Sicherheitsmaßnahmen:

- Wenn der Windpark weniger als 150 m von Wohngebäuden oder öffentlichen Verkehrswegen entfernt ist, muss die Gefahr von Eisschlag in Betracht gezogen werden. Dies ist weniger als der üblicherweise geforderten Abstand von 1,5 X (Rotorduchmesser plus Nabenhöhe) in der Liste der Technischen Baubestimmungen.
- Wenn eine WEA wegen Vereisung der Windfahne und/oder des Windgeschwindigkeitmessers gestoppt wurde, muss von einer potenziellen Eisgefährdung durch die WEA ausgegangen werden. Aus diesem Grund darf nur ein kontrollierter manueller Neustart der Windenergieanlagen erfolgen.
- Ein manueller Neustart ist nur unter der Voraussetzung zulässig, dass eine Sichtprüfung vom Boden durch den zuständigen Techniker stattgefunden hat, und an den Rotorblättern keine sicherheitsrelevanten Eisablagerungen festgestellt wurden.

© 2013. Alle Rechte vorbehalten.

- Fernstart der WEA ist nur dann zulässig, wenn:
  - bei Sichtprüfung vom Boden durch eine Person vor Ort an den Rotorblättern aller WEA keine sicherheitsrelevanten Eisablagerungen festgestellt werden oder
  - die Umgebungstemperatur länger als 3 Stunden über +3 °C bzw. länger als 1 Stunde über +5 °C lag.

Abtauvorrichtung für Windmessgeräte
Optional können die mechanischen Windmessgeräte mit einem Heizelement ausgerüstet werden. Die Heizelemente werden nur für eine Enteisung der Windmessgeräte verwendet, wenn die WEA zuvor gestoppt wurde. Ein dauerhaftes Beheizen ist nicht vorgesehen, so dass die o. g. Enteisungssysteme nicht beeinträchtigt werden.

(Technische Änderungen vorbehalten)

© 2013. Alle Rechte vorbehalten.

DET NORSKE VERITAS

Siemens Wind Power AG
Lindenplatz 2

20099 Hamburg
Germany
Att: Jonas Stenzel

DET NORSKE VERITAS, DANMARK A/S
Tuborg Parkvej 8, 2nd Floor
DK2900 Hellerup

Tel: +45 39 45 48 00
Fax: +45 39 45 48 01
www.dnv.com

Your ref:	Our ref: DNV Reg. No.: 1-67O4W8 Sign: BEVE/THDA Corresp. No.: 1756-165OFEM-1	Date: 2012-12-19

Siemens EMEA region
Icing Hazards and Ice Detection Systems

Dear Jonas Stenzel

Eiserkennungssystem für getriebelose Siemens Windenergieanlagen

Wir haben folgende Dokumente bezüglich der Gefahren von Eisabwurf und die Enteisungssysteme der Siemens AG geprüft:

- Icing Hazards and Ice Detection Systems E W EMEA EN-40-0000-7019-04 2012-12-19 Rev04

DNV ist seit vielen Jahren mit den Überwachungs- und Sicherheitssystemen der Siemens Windenergieanlagen vertraut und kann die in diesem Dokument genannten Eiserkennungssysteme bestätigen. Die Windenergieanlagen verfügen über 3 voneinander unabhängige Systeme zur Eiserkennung:

Vereisung der Windmesseinrichtungen
Vergleich Ist- und Sollleistung (Leistungskurvenvergleich)
Schwingungsüberwachung

Durch diese in den Siemens Windenergieanlagen vorhandenen Systeme zur Eiserkennung kann ein Betrieb bei Eisansatz an den Blättern sicher ausgeschlossen werden.

Yours sincerely
for Det Norske Veritas, Danmark A/S

Bente Vestergaard
Project Manager

Ole Kjær
Principal Engineer