DEUTSCHE
WINDGUARD

Ermittlung des Eisschlagpotenzials im Windpark Bad Schussenried

Standort: Bad Schussenried, (Baden-Württemberg)

Im Auftrag von

EnBW Windkraftprojekte GmbH
Schelmenwasenstr. 15
70567 Stuttgart
Deutschland

Deutsche WindGuard Consulting GmbH
Oldenburger Straße 65
26316 Varel
Deutschland

Projekt-Nr.: VC16415
Bericht-Nr.: PE16030.A1
Berichtsdatum: 13.01.2017

Ermittlung des Eisschlagpotenzials im Windpark Bad Schussenried

Standort: Bad Schussenried, (Baden-Württemberg)

Beauftragt von:	EnBW Windkraftprojekte GmbH Schelmenwasenstr. 15 70567 Stuttgart Deutschland
Kontakt (Auftraggeber):	Frau Prostolupow, Herr Heizmann
Erstellt von:	Deutsche WindGuard Consulting GmbH Oldenburger Straße 65 26316 Varel Deutschland Telefon: +49 4451 95 15 0 Fax: +49 4451 95 15 29 E-Mail: info@windguard.de
Projekt-Nr.: Bericht-Nr.: Datum:	VC16415 PE16030.A1 13.01.2017
Ersteller und Ansprechpartner:	Dipl.-Ing. Jens-Robert Schettler
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Markus Meyer zu Himmern

Das Managementsystem der Deutschen WindGuard Offshore ist vom TÜV-Nord nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert.

Revisionen

Revisions-Nr.	Datum	Status	Änderung
A0	09.12.2016	Bericht	---
A1	13.01.2017	Bericht	Layoutänderungen

Hinweis: Die letzte Revision ersetzt alle vorangehenden Revisionen.

Inhalt

1 EINLEITUNG 6

2 STANDORT UND WINDPARKKONFIGURATION 7

2.1 WINDENERGIEANLAGEN 11
2.1.1 Eiserkennungssystem 11
2.1.1.1 Optionales Eiserkennungssystem BLADEcontrol 11

3 EISBILDUNG AN WINDENERGIEANLAGEN 12

3.1 EISABWURF VON WINDENERGIEANLAGEN 15

4 METEOROLOGISCHE EINGANGSDATEN 17

5 BESCHREIBUNG DER VORGEHENSWEISE 18

6 DARSTELLUNG DER DATENGRUNDLAGE UND ANNAHMEN FÜR DIE BERECHNUNGEN 19

7 ERGEBNISSE DER ANALYSE 21

7.1 EINBEZIEHUNG VON AUFENTHALTSWAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR NEBENSTRAßEN UND WALDWEGE IN DIE BERECHNUNGEN 21
7.2 WAHRSCHEINLICHKEITSBERECHNUNG BEI EISABWURF VON ANLAGEN IM TRUDELBETRIEB 26
7.3 RESULTATE UND EMPFEHLUNGEN 26

8 KLIMATOLOGISCHE AUSBLICKE 27

9 ZUSAMMENFASSUNG 29

10 LITERATURVERZEICHNIS 30

11 ANHANG 32

A. WAHRSCHEINLICHKEITSVERTEILUNG FÜR DEN EISABWURF AUS DEM TRUDELBETRIEB IM WINDPARK BAD SCHUSSENRIED 33
B. WAHRSCHEINLICHKEITSVERTEILUNG BEI EISABWURF VON IN BETRIEB BEFINDLICHEN ANLAGEN VON DER BLATTSPITZE SOWIE VON ANLAGEN IM TRUDELBETRIEB AM STANDORT BAD SCHUSSENRIED UNTER EINBEZIEHUNG DER IN TABELLE 4 GEMACHTEN ANNAHMEN 34
C. LOIPENPLAN DER ATZENBERGER HÖHE 36

Disclaimer:

Es wird versichert, dass die vorliegenden Ermittlungen unparteiisch, gemäß dem Stand der Technik und nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt wurden. Für die ermittelten Ergebnisse und die Richtigkeit der Darstellung in diesem Bericht übernimmt die Deutsche WindGuard GmbH keine Gewähr. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Berichtes ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Deutsche WindGuard GmbH, Varel erlaubt.

Dieser Bericht umfasst 36 Seiten.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan des Windparks Bad Schussenried 8
Abbildung 2 Fotopunkte zur Standorteinschätzung 9
Abbildung 3 Blick von FP01 Richtung SO 10
Abbildung 4 Blick von FP02 Richtung S 10
Abbildung 5 Blick von FP02 Richtung W 10
Abbildung 6 Eisansatz unter verschiedenen Betriebszuständen. Oben: Beginnende Vereisung im Betrieb; Mitte: Wiedervereisung nach Eisabwurf im Betrieb; Unten: Vereisung während des Trudelbetriebs [10] 12
Abbildung 7 Eisansatz bei Stall- geregelten Anlagen [8] 13
Abbildung 8 Schematische Darstellung der Bildung von Raueis 13
Abbildung 9 Schematische Entstehung von Klareis 14
Abbildung 10 Typen von Eisansatz als Funktion von Windgeschwindigkeit (wind speed) und Lufttemperatur (air temperature)(Glaze – Klareis, Hard rime – hartes Raueis, soft rime – weiches Raueis) 14
Abbildung 11 Eisansatz an der Blattvorderkante; links Trudelbetrieb, rechts normaler Betrieb [8] 15
Abbildung 12: Windrichtungsverteilung der ConWx – Daten aufgeteilt nach Windklassen in 150 m über Grund 17
Abbildung 13: Windrichtungsverteilung der ConWx – Daten nach der Filterung auf Zeiten, in denen die Voraussetzungen für Eisansatz erfüllt sind, aufgeteilt nach Windklassen in Nabenhöhe 17
Abbildung 14: Von Grenzwertüberschreitung betroffene Waldwege an WEA01 (keine Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten) 22
Abbildung 15: Von Grenzwertüberschreitung betroffene Waldwege an WEA02 (keine Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten) 22
Abbildung 16: Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA01 ohne Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten 24
Abbildung 17:Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA02 ohne Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten 24
Abbildung 18:Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA01 unter Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten 25
Abbildung 19: Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA02 unter Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten 25
Abbildung 20: Mittlere Änderung der Eistage nach dem Regionalen Klimaatlas Deutschland für den Zeitraum 2016-2045 für die Region Baden-Württemberg [27] 27
Abbildung 21: Mittlere Änderung der Frosttage nach dem Regionalen Klimaatlas Deutschland für den Zeitraum 2016-2045 für die Region Baden-Württemberg [27] 28
Abbildung 22: Mittlere Änderung der relativen Luftfeuchte nach dem Regionalen Klimaatlas Deutschland für den Zeitraum 2016-2045 für die Region Baden-Württemberg [27] 28
Abbildung 23: Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Eisabwurf im Trudelbetrieb im Windpark Bad Schussenried 33
Abbildung 24 Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Eisabwurf im Trudelbetrieb am Standort Bad Schussenried unter Einbeziehung der in Tabelle 4 gemachten Annahmen 35
Abbildung 25: Loipenplan Atzenberger Höhe 36

1 Einleitung

Während des Betriebes von Windenergieanlagen (WEA) kann es zur Gefährdung von Menschen und Infrastruktur durch Eisabwurf kommen. Die Deutsche WindGuard Consulting GmbH wurde beauftragt ein Gutachten zum Gefährdungspotenzial durch Eisschlag am Standort Bad Schussenried (Baden-Württemberg) zu erstellen. Hierfür sollen die in Kapitel 2 identifizierten schützenswerten Güter auf das Gefährdungspotenzial auf Grund von Eisabwurf bzw. -abfall, welcher von den Anlagen im Windpark emittiert wird, hin untersucht werden.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe werden zunächst die benötigten WEA- sowie standortspezifischen Daten zusammengestellt und analysiert. Im weiteren Verlauf wird der Eisansatz an Windenergieanlagen zusammenfassend betrachtet. Darauf aufbauend werden die durchgeführten Berechnungen unter Berücksichtigung der vorherrschenden Windverhältnisse dargestellt.

Als Abschluss erfolgt ein kurzer Ausblick auf mögliche klimatologische Entwicklungen.

2 Standort und Windparkkonfiguration

Der Windpark Bad Schussenried liegt etwa 9.5 km südöstlich von Bad Saulgau und 2.5 km nördlich von Aulendorf auf der Atzenberger Höhe zwischen den Ortschaften Bad Schussenried im Osten und Ebersbach-Musbach im Westen.

Die Koordinaten der WEA sind in Tabelle 1 dargestellt.

Innerhalb dieses Gebietes verlaufen Nebenstraßen und diverse Waldwege, von denen einige in den Wintermonaten als Loipe präpariert werden (vgl. [1] und Anhang C). Diese sind als schützenswerte Objekte auf die Gefährdung hinsichtlich Eisschlags zu überprüfen (siehe Abbildung 1 und Anhang C Abbildung 25).

Zur Begutachtung und Dokumentation der örtlichen Gegebenheiten wurde am 30.11.2016 eine Standortbesichtigung durchgeführt.

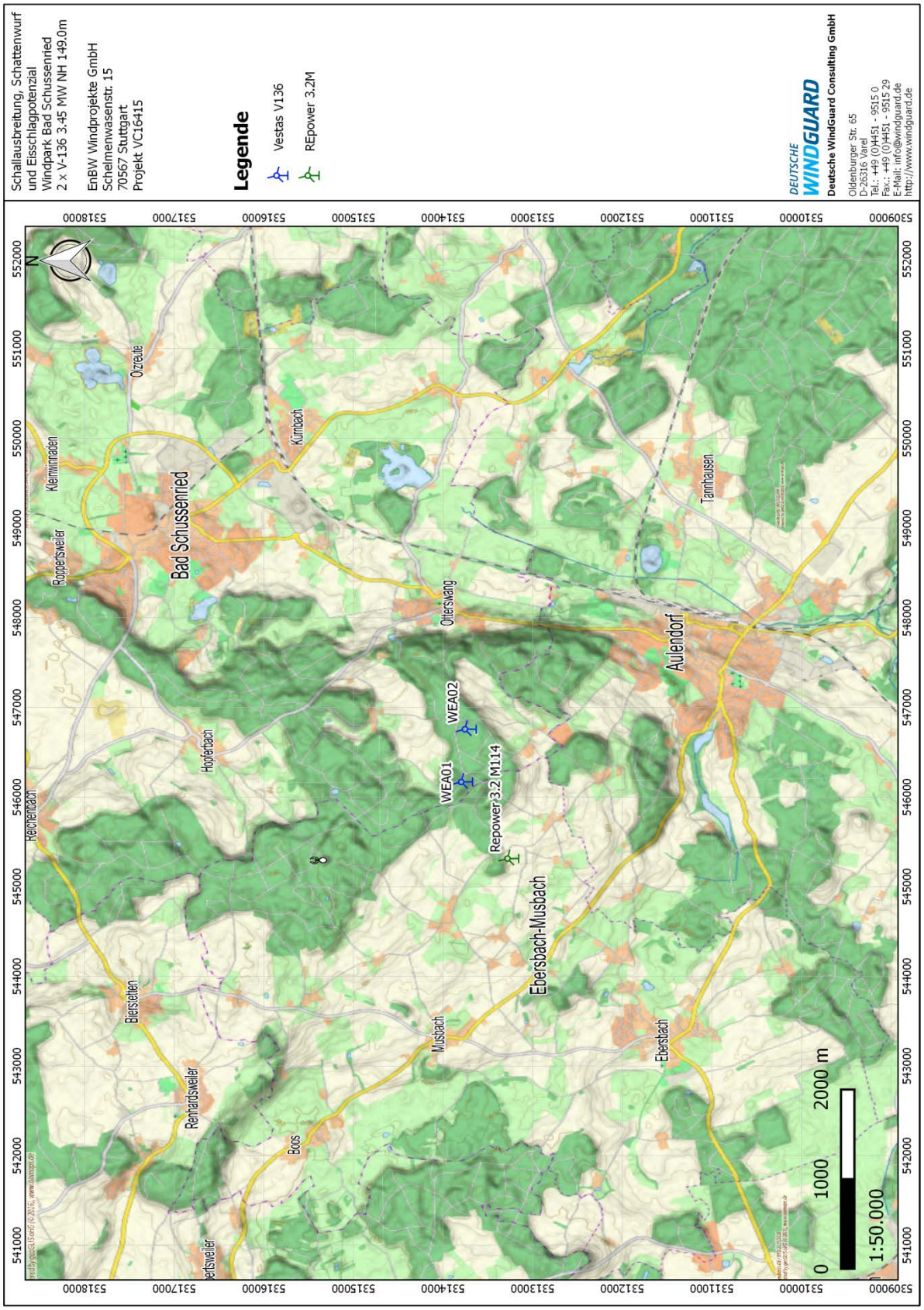

Abbildung 1: Lageplan des Windparks Bad Schussenried

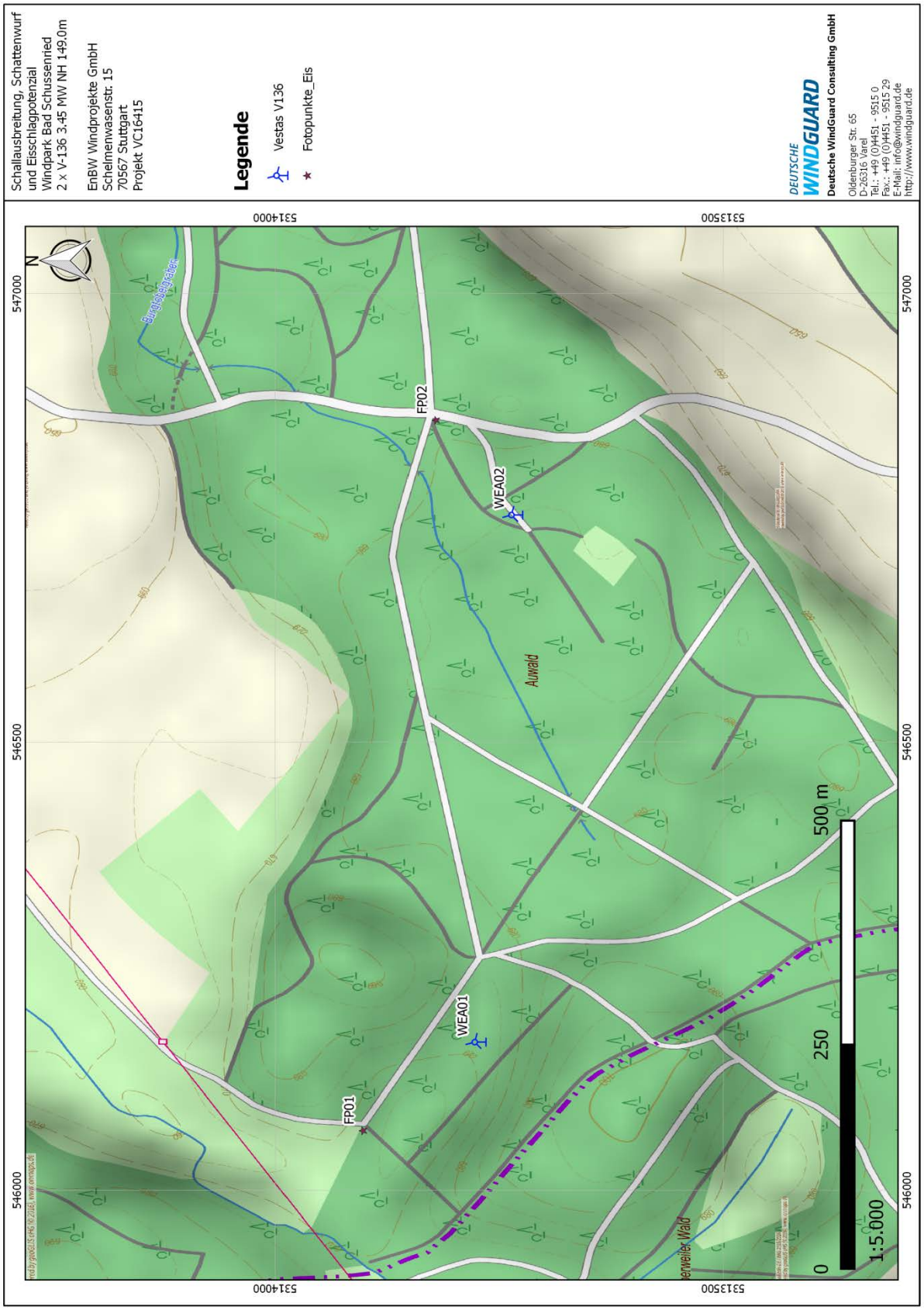

Abbildung 2 Fotopunkte zur Standorteinschätzung

Abbildung 3 Blick von FP01 Richtung SO

Abbildung 4 Blick von FP02 Richtung S

Abbildung 5 Blick von FP02 Richtung W

2.1 Windenergieanlagen

Am Standort sollen 2 Anlagen des Typs Vestas V136 installiert werden.

WEA	Koordinaten (UTM ETRS89 Zone32)		Hersteller	Typ	Rotordurchmesser	Nabenhöhe
	Rechtswert	Hochwert			in m	in m
WEA 01	546.165	5.313.775	Vestas	V136	136.0	149.0
WEA 02	546.753	5.313.734	Vestas	V136	136.0	149.0

Tabelle 1: WEA Daten

2.1.1 Eiserkennungssystem

Die Vestas V136 besitzt standardmäßig kein System, das auf das Erkennen von Eis ausgelegt ist.

Um die Anlage zu schützen ist ein Sensor System installiert, welches bei erhöhten Schwingungen bzw. Schockwellen Signale sendet, die zur Abschaltung der Anlage führen. [2] Die auslösenden Vibrationen bzw. Wellen müssen deutlich höher sein, als die während des normalen Betriebs zu erwartenden. Nach einem Stopp auf Grund der Vibrationssicherung muss ein manueller Reset erfolgen. [2] Dieses System ist für Eisansatz nicht untersucht und wird deshalb in den vorliegenden Berechnungen außer Acht gelassen.

2.1.1.1 Optionales Eiserkennungssystem BLADEcontrol

Bei Vestas Anlagen besteht die Möglichkeit, die Anlagen mit dem BLADEcontrol System der Firma Bosch Rexroth auszurüsten, welches für die Anlagen im Projekt verwendet wird.

Grundsätzlich detektiert das System Zustandsveränderungen am Rotorblatt, die das strukturdynamische Verhalten über ein spezifisches Maß hinaus beeinflussen. Dies kann auch zur Detektion von Eisansatz benutzt werden, da die Eigenschwingungen des Blattes proportional zur ansetzenden Eismasse sinken. Diese Veränderungen werden mit Hilfe hoch sensibler Sensoren erfasst und ausgewertet [3]. Nach [4] werden Frequenzen überwacht, die auch bei Stillstand der Anlage oder bei Blättern in Fahnenstellung gut angeregt werden. Dadurch kann das System auch zur Überprüfung auf Eisfreiheit nach Stillsetzung der Anlage eingesetzt werden. Eine visuelle Prüfung vor Wiederinbetriebnahme kann demnach entfallen.

Die Eisdetektionsfähigkeiten des Systems wurden vom GL geprüft und zertifiziert. [5]

3 Eisbildung an Windenergieanlagen

Eisansatz bei WEA tritt unter bestimmten meteorologischen Bedingungen auf. Einflussfaktoren sind die Temperatur, der Luftdruck, die Größe und Form des Objekts auf dem der Eisansatz auftritt, der Anteil flüssigen Wassers in der Luft (LWC), die Größenverteilung der Wassertröpfchen sowie die freie Windgeschwindigkeit [6].

Nach dem IEC-Standard ist Eis als eine Form extremer Umweltbedingungen charakterisiert [7]. Daraus folgend kann abgeleitet werden, dass in Lastberechnungen die Kombination von der externen Bedingung Eisansatz nur mit normalen Betriebsbedingungen erfolgt und somit auch nur normale Betriebszustände zu betrachten sind. Dies ist für die Annahmen, wie das Betriebsführungssystem reagiert, von Bedeutung. [8]

Für die Ausbildung von Eisansatz können im Allgemeinen folgende Aussagen getroffen werden:

Eine hohe Luftfeuchte und Temperaturen ≤ 0 °C begünstigen die Ausbildung von Eis. Wassertröpfchen, die sich dabei an einem unterkühlten Objekt absetzen, kristallisieren. Bei einem rotierenden Blatt bildet sich der Eisansatz an der vorderen, dem Wind zugewandten Seite des Blattprofils aus und nimmt zur Blattspitze hin zu, da die Relativgeschwindigkeit des Blattes an der Spitze am größten ist, und es so am meisten Tröpfchen sammeln kann. [9] An Pitch-geregelten Anlagen erfolgt die Eisbildung auch im Idle-Modus (Trudelbetrieb, Blätter sind in den Wind gedreht, Rotor dreht sehr langsam) oder im Stillstandsmodus (Blätter sind in Fahnenstellung, Rotor schwankt um Schwerpunkt) an der Blattvorderseite (siehe Abbildung 6), während bei Stall-geregelten Anlagen das gesamte Rotorblatt während der Stoppstellung vereisen kann (Blätter drehen aus dem Wind bis Strömungsabriss erfolgt) (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7).

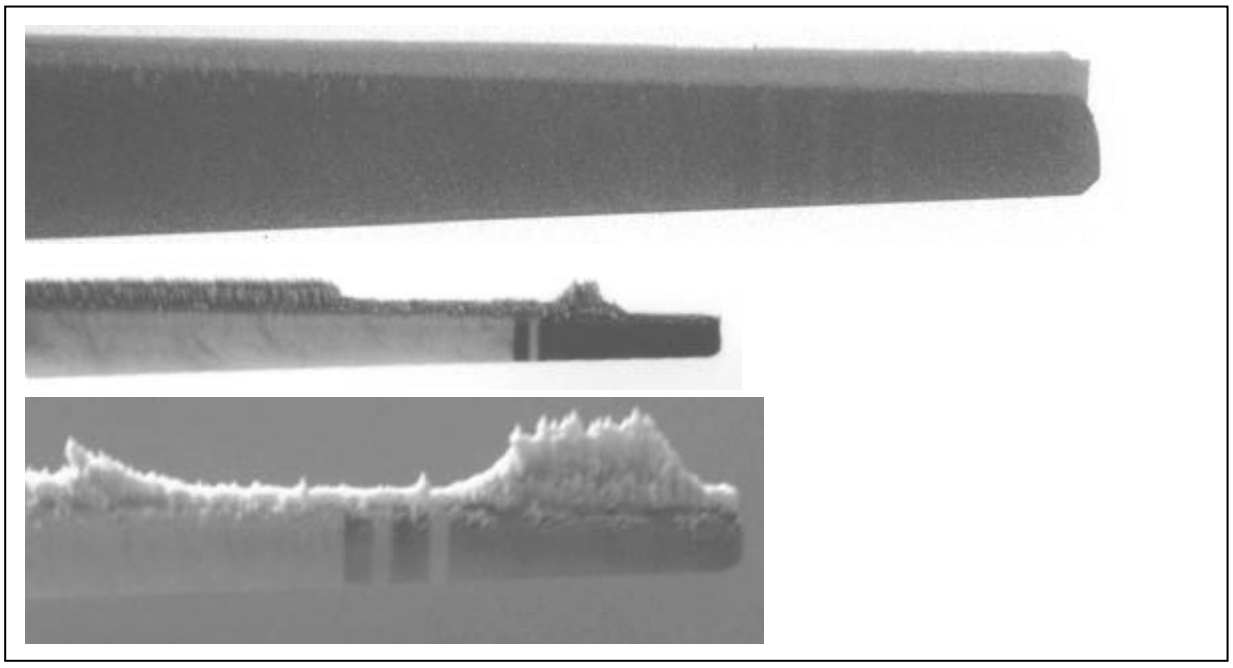

Abbildung 6 Eisansatz unter verschiedenen Betriebszuständen. Oben: Beginnende Vereisung im Betrieb; Mitte: Wiedervereisung nach Eisabwurf im Betrieb; Unten: Vereisung während des Trudelbetriebs [10]

Abbildung 7 Eisansatz bei Stall- geregelten Anlagen [8]

Es wird im Wesentlichen zwischen zwei sich bildenden Eisarten unterschieden:

Raueis bildet sich bei Temperaturen < -4 °C, einem geringeren Anteil flüssigen Wassers in der Luft und relativ kleiner Tröpfchengröße. Die auftreffenden Tröpfchen gefrieren sofort und bilden eine milchige raue Eisstruktur (vgl. Abbildung 8). [9] Es ist die häufigste Eisstruktur bei in-cloud icing (Eisansatz innerhalb von unterkühlten Wolken oder Nebelfeldern). Hierbei kommt es abhängig von dem Wasseranteil der Luft, der Tröpfchengröße, der Temperatur und der Windgeschwindigkeit zur Ausbildung von hartem oder weichem Raueis (vgl. Abbildung 10). Die Dichte des ausgebildeten Eises liegt zwischen 300 und 700 kg/m³. [6]

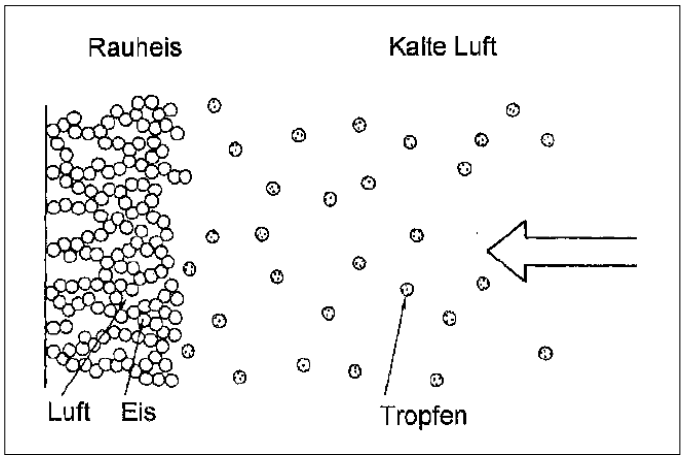

Abbildung 8 Schematische Darstellung der Bildung von Raueis

Klareis bildet sich bei Temperaturen bis etwa -10 °C, einem hohen Wasseranteil und relativ großen Tröpfchen in der Luft, hauptsächlich bei gefrierendem Regen oder Nieselregen und bei feuchtem in-cloud icing [6]. Verursacht wird dies durch eine Warmfront, die auf eine bodennahe Kaltfront aufgleitet. Bei einsetzendem Niederschlag werden die Wassertröpfchen beim Durchfallen der kalten Luftschicht auf Temperaturen unter dem Gefrierpunkt abgekühlt, ohne dabei zu gefrieren. Treffen sie auf eine Oberfläche, deren Temperatur ebenfalls unter 0 °C liegt, beginnt sofort die Eisbildung (z.B. Blitzeis). [11] Beim Auftreffen der Tröpfchen ist die entzogene Wärmekapazität zu gering, um das gesamte Tröpfchen sofort gefrieren zu lassen. Es bildet sich eine dünne gefrierende Wasserschicht entlang der Tiefe des Blattes, die sogenannte Ablauf- oder Rückflusswasserschicht. Es entsteht eine klare, glatte Eisfläche mit Wassereinschlüssen (vgl. Abbildung 9). Die Dichte liegt bei etwa 900 kg/m³. [9]

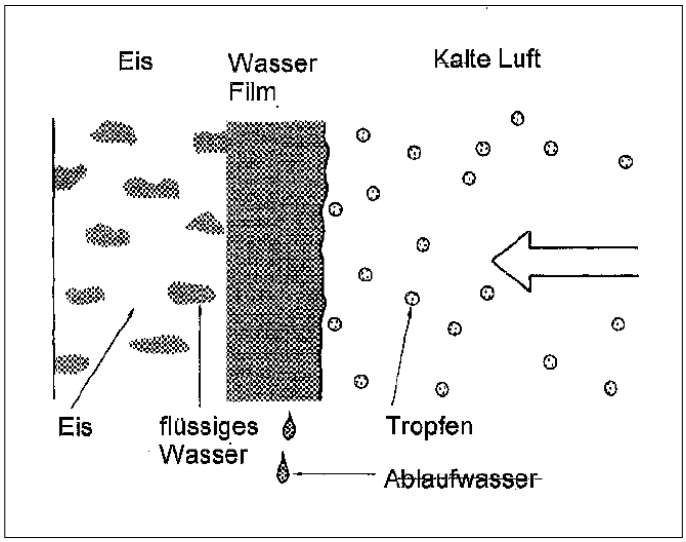

Abbildung 9 Schematische Entstehung von Klareis

Neben diesen beiden Extremen wurden in der Struktur auftretenden Eises auch Mischformen beobachtet. In diesen Fällen treten z.B. harte, klareisähnliche Strukturen an der Profilnase auf, die von weicheren und gröberen Raueisbildungen überlagert werden. [9]

Abbildung 10 gibt einen Überblick über den Zusammenhang von Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit bei der Bildung verschiedener Eistypen. Mit einem höheren Wasseranteil und einer kleineren Objektgröße verschieben sich die Kurven nach links. [6]

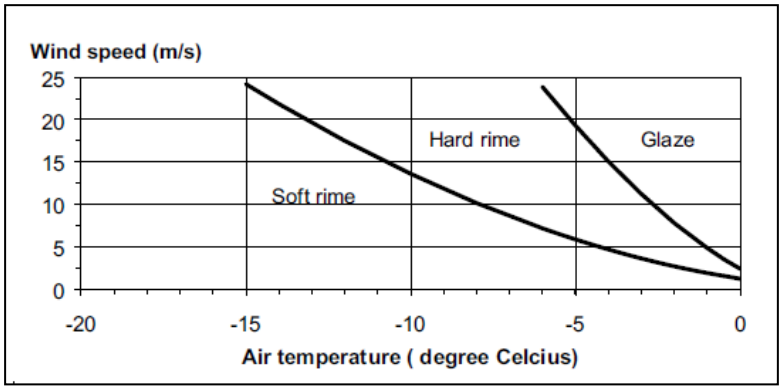

Abbildung 10 Typen von Eisansatz als Funktion von Windgeschwindigkeit (wind speed) und Lufttemperatur (air temperature)(Glaze – Klareis, Hard rime – hartes Raueis, soft rime – weiches Raueis)

Für Details zur Form der ausgebildeten Eisstücke und deren Auswirkungen auf z.B. den Widerstandsbeiwert sei auf die entsprechende Literatur verwiesen, hier z.B. [9].

Eine Übersicht über die sich bildenden Eisarten zeigt auch Tabelle 2 nach [6].

Eistyp	Dichte in kg/m³	Adhäsion & Kohäsion	Generelles Erscheinungsbild	
			Farbe	Form
Klareis	900	stark	durchsichtig	gleichmäßig verteilt / Eiszapfen
feuchter Schnee	300 – 600	schwach (Entstehung) stark (gefroren)	weiß	gleichmäßig verteilt / ausgefallene Form
hartes Raueis	600 – 900	stark	undurchsichtig, milchig	ausgefallene Form, ausgebildet in Windrichtung
weiches Raueis	200 – 600	schwach bis mittel	weiß	ausgefallene Form, ausgebildet in Windrichtung

Tabelle 2 Übersicht über sich bildende Eisarten von atmosphärischem Eis

3.1 Eisabwurf von Windenergieanlagen

Abhängig vom Rotorazimut, der Rotordrehzahl, der Position des Eises in Bezug auf den Radius und der Windgeschwindigkeit werden die angreifenden Kräfte (aerodynamische, zentrifugale und Gewichtskräfte) so groß, dass Eisstücke abgeworfen werden oder herunterfallen.

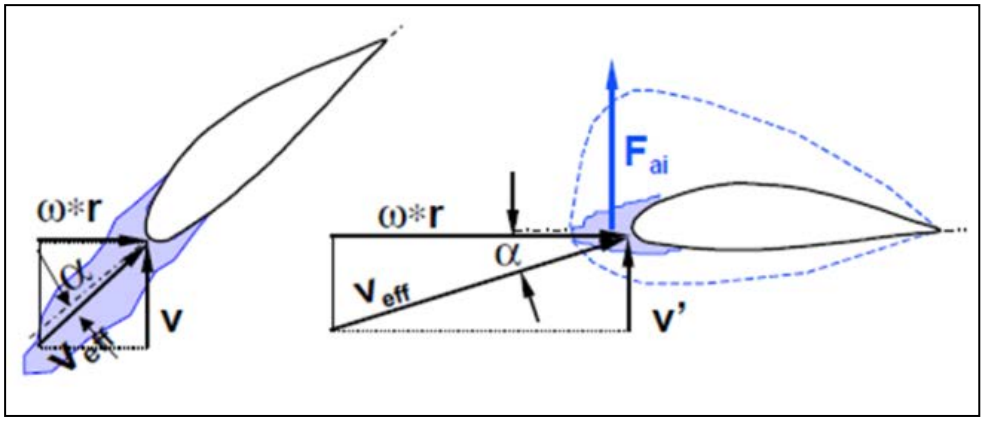

Abbildung 11 Eisansatz an der Blattvorderkante; links Trudelbetrieb, rechts normaler Betrieb [8]

v = Windgeschwindigkeit
v‘ = reduzierte Windgeschwindigkeit in der Rotorebene
r = lokale Radius
ω = Winkelgeschwindigkeit des Rotors
veff = effektive Anströmgeschwindigkeit

α = Anströmwinkel

Fai = Resultierende aerodynamische Kraft, die auf das Eis wirkt

Hierbei ist davon auszugehen, dass bei rotierenden Anlagen die angreifenden Kräfte (aerodynamische, zentrifugale Kräfte und Gewichtskraft) bei einer geringeren Masse der Eisstücke die Adhäsionskräfte zwischen Eis und Blatt bzw. die Kohäsionskräfte des Eises überwiegen, als dies bei stehenden Anlagen oder Anlagen im Trudelbetrieb der Fall ist. Dies bedeutet, dass es bei stehender Anlage durchaus zum Herabfallen von sehr massereichen Eisstücken kommen kann, die dann allerdings durch die Windeinwirkung nicht weit verfrachtet werden.

Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass sich unter Rotationsbedingungen hauptsächlich Raueis bildet, welches auch bei Blattverbiegungen nicht leicht abbricht. Raueis entwickelt sich häufig mit bemerkenswerter Symmetrie, die dazu führt, dass der Eisansatz möglicherweise nicht über Unwuchten erkannt werden kann. [12]

Der größte Teil des sich bildenden Eises verbleibt bei genügend tiefen Temperaturen selbst bei größeren Verbiegungen an den Blättern. Allerdings führen auch kleinere abgeworfene Stücke schnell zu Unwuchten, die über die Anlagensteuerung erkannt werden.

Erst durch Tauvorgänge bei höheren Temperaturen wird das gesamte Eis gelöst. Beobachtungen belegen, dass Eis eher herunterfällt als abgeworfen wird. Sollten Teile des Eisansatzes dennoch abgeworfen werden, ist der Emissionsbereich eher im Blattspitzenbereich zu suchen, als in der Nähe der Nabe. Sollten größere Stücke von der Anlage abgeworfen werden, zerbrechen sie während des Fluges typischerweise in mehrere kleine Stücke. [13] Die meisten gefundenen Fragmente hatten Massen zwischen 0,1 und 1 kg und wurden in Entfernungen bis 100 m gefunden [12].

4 Meteorologische Eingangsdaten

Als Datengrundlage dienen die ConWx–Daten [14] für den Punkt:

Rechtswert 546,258

Hochwert 5,315,374

im Koordinatensystem UTM ETRS89 Zone 32.

Die verwendeten ConWx–Daten sind ein hochaufgelöster Reanalyse–Datensatz, der über das Programm WindPRO [15] verfügbar ist. Die Daten liegen als Stundenwerte vor. Genutzt wurde der Zeitraum vom 01. Januar 2000 bis zum 31. Dezember 2015.

Von den ConWx–Daten wurden die Werte für die mittlere Windgeschwindigkeit, die Windrichtungsverteilung, die Temperatur sowie die relative Luftfeuchte verwendet.

Die vertikalen Berechnungspunkte im Reanalysegitter sind für die Windgeschwindigkeit und die Windrichtungsverteilung 150 m, für die Temperatur 100 m und für die relative Luftfeuchte 2 m.

Um die Verhältnisse in Nabenhöhe widerzugeben, wurde die Windgeschwindigkeit anhand der Angaben in [16] skaliert. Die Temperatur wurde mit Hilfe der internationalen Höhenformel skaliert, die Werte für die relative Luftfeuchte wurden unverändert übernommen.

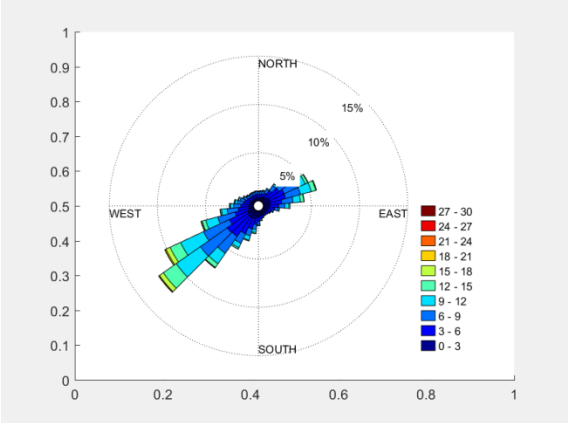

Abbildung 12: Windrichtungsverteilung der ConWx – Daten aufgeteilt nach Windklassen in 150 m über Grund

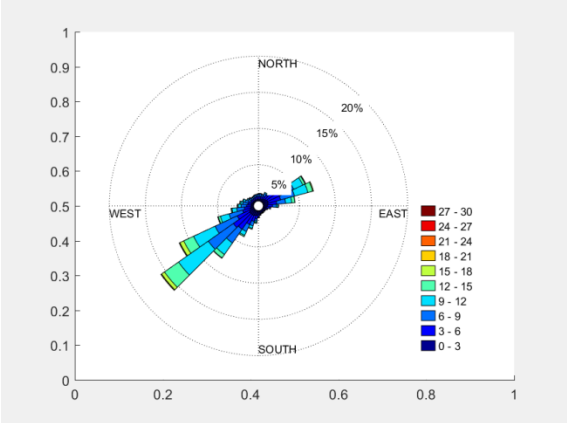

Abbildung 13: Windrichtungsverteilung der ConWx – Daten nach der Filterung auf Zeiten, in denen die Voraussetzungen für Eisansatz erfüllt sind, aufgeteilt nach Windklassen in Nabenhöhe

5 Beschreibung der Vorgehensweise

Die Datengrundlage dieser Betrachtung sind Reanalysezeitreihen mit einstündiger Auflösung. Diese werden auf das Auftreten von Bedingungen hin gefiltert, die Eisansätze ermöglichen. Als Beurteilungsgrundlage dient hierbei eine Datenbasis, die empirisch bei der Deutschen WindGuard entwickelt wurde.

Unter Berücksichtigung der am Standort vorherrschenden Windrichtungsverteilung werden für jedes Windrichtungs- und Windgeschwindigkeits-Bin[1] die auf ein Jahr normierten Zeitanteile ermittelt, zu denen Eisansatz vorgelegen haben könnte.

Zur Bestimmung der Auftreffkoordinaten werden, unter Berücksichtigung der für abgeworfene Eisstücke typischen Maße und des c_w-Wertes[2], sowie des standorttypischen Windprofils für alle vorkommenden Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsintervalle die Flugbahnen für abgeworfenes Eis ermittelt.

Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung bei Anlagen im Trudelbetrieb wurde eine Vereisung der gesamten Blattvorderkante angenommen.

Nach [17] trudelt die Anlage mit 1.42 min^{-1}. Dieser Wert wurde für die Berechnungen im Trudelbetrieb zugrunde gelegt.

Die normierten Zeitanteile werden den Koordinaten entsprechend den Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsintervallen zugeordnet, was zu einer konservativen räumlichen Darstellung der Auftreffwahrscheinlichkeit für Eisabwurf führt.

Die Berechnungsergebnisse werden in einem 1 m^2 – Raster zusammengefasst und dargestellt. (vgl. Kapitel A)

In die Berechnungen wurden, wegen nicht vorhandener Datenbasis, weder Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen, noch die Verkehrsdichte auf Straßen aufgenommen [18]. Bei Berücksichtigung dieser Angaben, sofern Sie bekannt wären, würden sich die Wahrscheinlichkeiten signifikant reduzieren. (vgl. Kapitel 7.1)

[1] Klasseneinteilung der Windgeschwindigkeit bzw. der Windrichtung

[2] Widerstandsbeiwert des Eiskörpers

6 Darstellung der Datengrundlage und Annahmen für die Berechnungen

Im vorliegenden Gutachten wird der Eisabwurf einer Anlage im Trudelbetrieb (Stillsetzung auf Grund von Eiserkennung durch das BLADEcontrol Eiserkennungssystem) dargestellt.

Bei erfolgreicher Eiserkennung wird davon ausgegangen, dass die Anlage in den Trudelbetrieb übergeht. Die Vereisung wird über die gesamte Blattlänge an der Blattvorderkante angenommen, wie in Kapitel 3 dargestellt wurde.

Die Berechnungen erfolgen windgeschwindigkeits- und windrichtungsabhängig unter Beachtung des Windprofils und der Drehzahlkurve des Rotors.

Alle angreifenden Kräfte wurden bei der Wurfweitenberechnung berücksichtigt, exklusive einer durch die Form des Eisstücks möglicherweise temporär während des Fluges entstehenden Auftriebskraft.

Die Anlagen sind mit dem Eiserkennungssystem BLADEcontrol [4] ausgerüstet. Wie in Kapitel 2.1.1 dargestellt wurde, kann damit von einer sicheren Stillsetzung in den Trudelbetrieb der Anlagen bei Eisansatz ausgegangen werden. Die Beurteilung der Betriebsführung ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

Da die verwendete Anlage eine Pitch-geregelte Anlage ist, konnte von einem ausschließlichen Eisansatz im Trudelbetrieb an der Blattvorderkante ausgegangen werden (vgl. Kapitel 2.1.1). Diese Annahme wurde für die Berechnungen verwendet.

Als Grundlage zur Berechnung der Masse der abgeworfenen Eisstücke wurde die Berechnungsvorschrift des GL für Lasten bei extremen externen Bedingungen (Eis) herangezogen. [19] Entsprechend wird die Dichte des Eises mit 700 kg/m³ angenommen. Der Vorschrift, eine zunehmende Eisdicke von der Blattnabe zur Blattmitte und von dort gleichbleibend bis zur Blattspitze anzunehmen, wird in den Berechnungen in der Weise Rechnung getragen, dass die Länge der Eisstücke und deren Masse über das Blatt konstant gehalten wird. Dies führt, vor allem im Bereich der Blattnabe, durch den großflächigeren Eisansatz zu einer Verringerung der Eisdicke.

Für die Berechnungen wurde eine Eisstückmasse von 500 g angenommen. Die Länge der Eisstücke bleibt dabei mit 0.5 m konstant.

Der Widerstandsbeiwert für abgeworfene Eisstücke wurde nach [20] und [21] zu 1.2 bestimmt. Aus Sicherheitsgründen wurde er für die Berechnungen mit 1.0 verwendet, was zu größeren Wurfweiten führt.

Die Luftdichte wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen [22] zu 1.225 kg/m³ festgelegt.

Der Höhenexponent α wird gemäß IEC 61400-1 ed. 3 [7] zu 0.2 festgelegt.

Die folgenden Tabellen zeigen eine Zusammenstellung der für die Berechnung maßgeblichen Werte.

WEA		Trudelbetrieb
	Nabenhöhe in m	149.0
	Rotordurchmesser in m	136.0
	Intervall für Abwurfposition über den Rotorkreis	5°
Eisstück		
	Länge in m	0.5
	Durchmesser in m	0.04
	Masse in kg	0.5
	Dichte in kg/m³	700
	Angriffsfläche in m²	0.02
	Cw-Wert	1.0
Umgebungsbedingungen		
	Luftdichte[3] in kg/m³	1.225
	Hellmann-Exponent[4]	0.2
	Erdbeschleunigung in m/s²	9.81
weitere Berechnungsbedingungen		
	Abwurfposition relativ zu Radius	Gesamte Blattlänge

Tabelle 3: Maßgebliche Werte für den Eisabwurf im Trudelbetrieb

[3] Nach [24]

[4] Nach [12]

7 Ergebnisse der Analyse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Analyse dargestellt.

Für die Beurteilung des Risikos wurde eine Berechnung des Individualrisikos vorgenommen. Als Individualrisiko ist dabei in Anlehnung an [18] die Wahrscheinlichkeit zu verstehen, dass eine Person, die sich ein Jahr lang ungeschützt 24 Stunden am Tag an einem bestimmten Ort aufhält, von einem Eisstück definierter Masse und Abmessung getroffen wird.

Für die Beurteilung der gefährdeten Bereiche wird eine Grenzwahrscheinlichkeit von 1×10^{-6}, entsprechend den Angaben der DIN EN ISO 16708:2006 [23], angesetzt. Dieser Wert deckt sich mit den in den Niederlanden für geplante Anlagen verwendeten und vom VdTÜV empfohlenen Wert. [24]

Diese maximal tolerierbare Grenzwahrscheinlichkeit bezeichnet die Grenze, unterhalb derer die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Schadensszenarios als so gering angesehen werden kann, dass von Unbedenklichkeit ausgegangen werden kann.

Als Basis jedes Szenarios wurde die komplette Verteilung verwendet, die sich aus den Wetteraufzeichnungen ergibt. Dies entspricht nicht der Realität und stellt ein worst-case-Szenario für jede verwendete Eismasse dar.

Da die sich entwickelnde Eisdecke in der Realität von verschiedenen Einflussfaktoren abhängt (Zeitintervall für die Bedingungen von Eisansatz, Wassergehalt der Luft, Tröpfchengröße usw.), werden sich Eisansätze verschiedener Stärken ausbilden. Die Eiswurfwahrscheinlichkeit setzt sich also zusammen aus:

1. der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Eisansatz abhängig von Windgeschwindigkeit, relativer Feuchte, Temperatur und Windrichtung,
2. der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der verschiedenen Eisstärken bezogen auf die Gesamtzeit des Eisansatzes,
3. der Massenverteilung der abgeworfenen bzw. heruntergefallenen Eisstücke und
4. der Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit von Personen oder schützenswerten Gütern auf der fraglichen Fläche.

In die Berechnungen konnten die Wahrscheinlichkeiten der Punkte 2 bis 4 auf Grund fehlender Erhebungen oder ungenügender Datenlage nicht aufgenommen werden.

Deren Einbeziehung würde zu einer signifikanten Verminderung der unten angegebenen Wahrscheinlichkeiten führen, wie in Kapitel 7.1 für Punkt 4 dargestellt ist.

7.1 Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Nebenstraßen und Waldwege in die Berechnungen

Für alle öffentlichen und nicht öffentlichen Wege, z.B. zur Bewirtschaftung von Feldern oder Wäldern, Wanderwege u.ä. besteht ein allgemeines Betretungsrecht. Dies bedeutet, dass es angebracht ist, bei Grenzwertüberschreitungen auf diesen Wegen, auch diese näher zu untersuchen. Im vorliegenden Fall ist dies für folgende Wege bzw. Nebenstraßen der Fall.

Eisabfall aus dem Trudelbetrieb (vgl. Abbildung 14, Abbildung 15 und Anhang A):

a. Waldwege nordöstlich als Teil der Loipe laut Loipenplan (vgl. Anhang C Abbildung 25) und
b. südwestlich der Anlage WEA01
c. Waldwege nordöstlich bis südwestlich der Anlage WEA02

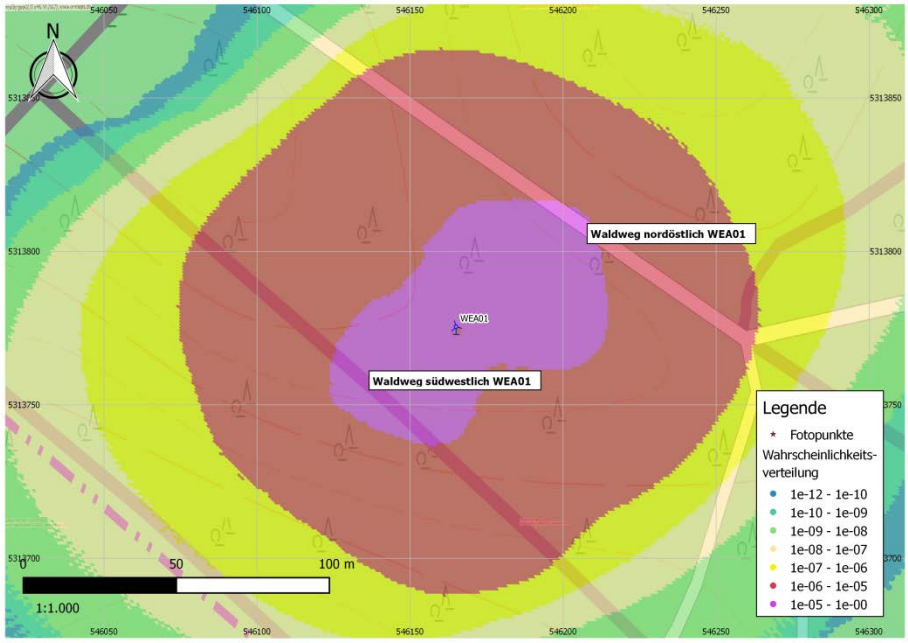

Abbildung 14: Von Grenzwertüberschreitung betroffene Waldwege an WEA01 (keine Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten)

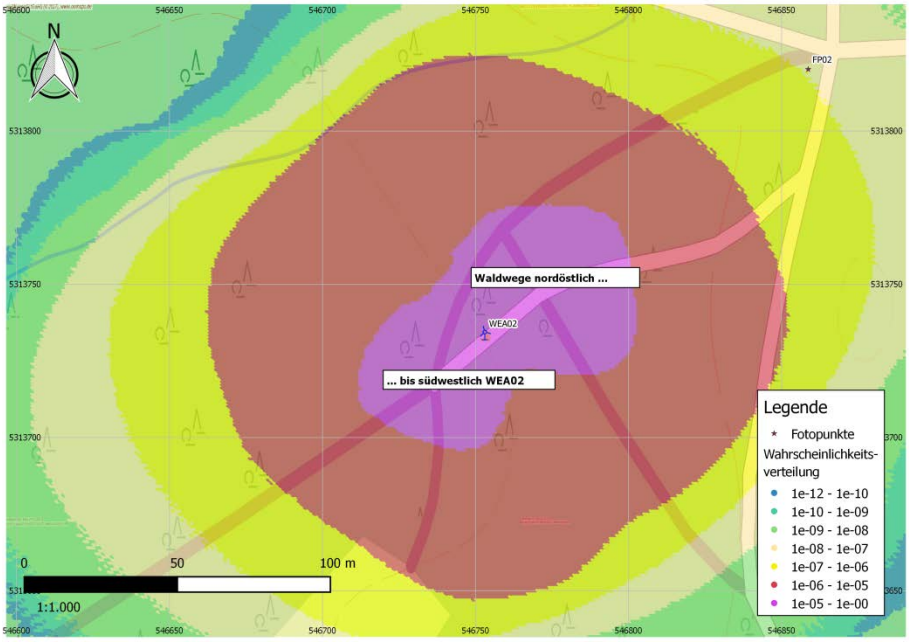

Abbildung 15: Von Grenzwertüberschreitung betroffene Waldwege an WEA02 (keine Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten)

In der Stellungnahme des Loipenvereins Skilanglauf – Loipe Atzenberger Höhe e.V. wird die Anzahl der Loipenbenutzer an Wochenenden mit über 1000 Personen angegeben

[25]. Aus Sicherheitsgründen wurde für die Berechnungen mit einer Anzahl von 2000 Personen pro nutzbarer Zeit der Loipe an Wintertagen (die nutzbare Zeit wurde auf 9 Stunden pro Tag festgelegt) gerechnet. Aus diesen und den in Tabelle 4 dargestellten Annahmen ergibt sich eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen oder Kfz für die Wintermonate von $7.41*10^{-2}$.

Die getroffenen Annahmen in Tabelle 4 erscheinen als vorsichtige Schätzungen, sind für das zu untersuchende Gebiet jedoch nicht statistisch erfasst.

	Frequentierung in Anzahl / d	Geschwindigkeit in km / h
Personen	2000	3
Kfz	5	40

Tabelle 4 angenommene Werte für den Aufenthalt von Personen und Kfz auf Feldwegen

Aus diesen Werten ergeben sich die folgenden Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Personen und Kfz.

	Aufenthalts-wahrscheinlichkeit	Kombinierte Aufenthalts-wahrscheinlichkeit
Personen	$7.41*10^{-2}$	$7.41*10^{-2}$
Kfz	$5.21*10^{-6}$	

Tabelle 5 Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Personen und Kfz auf den Waldwegen (resultieren aus angenommenen Werten)

Setzt man diese Wahrscheinlichkeiten als Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Personen und Kfz für die Waldwege voraus und lässt weiterhin die Punkte 2 und 3 außer Acht, wird die Grenzwahrscheinlichkeit für das Individualrisiko von $1x10^{-6}$ bei einer Eisschlagwahrscheinlichkeit von $\geq 1.35*10^{-5}$ überschritten (vgl. Kapitel 11).

Der Maximalwert für den Eisabwurf aus dem Trudelbetrieb ist $2.51*10^{-04}$.

Bei der Integration der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen und Kfz mit den vorsichtig geschätzten Werten aus Tabelle 4 in die Berechnungen, wird die Grenzwahrscheinlichkeit für das Individualrisiko von 10^{-6} noch an folgenden Wegen überschritten (vgl. Anhang B):

- Waldweg südwestlich der WEA 01
- Waldwege nordöstlich bis südwestlich der WEA 02

Die maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung ist von 99.5 m auf 49 m gesunken (vgl. Abbildung 16 bis Abbildung 19).

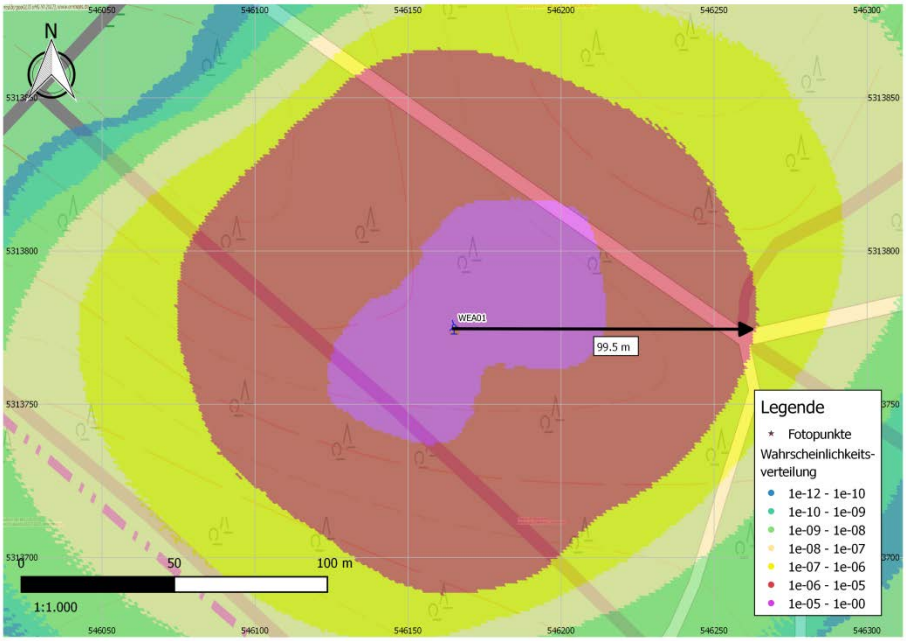

Abbildung 16: Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA01 ohne Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten

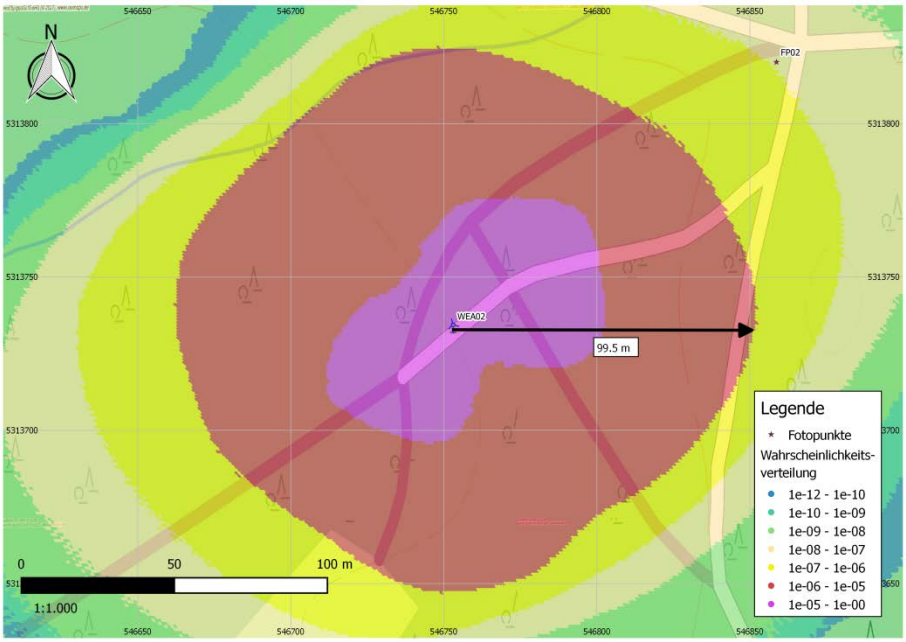

Abbildung 17:Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA02 ohne Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten

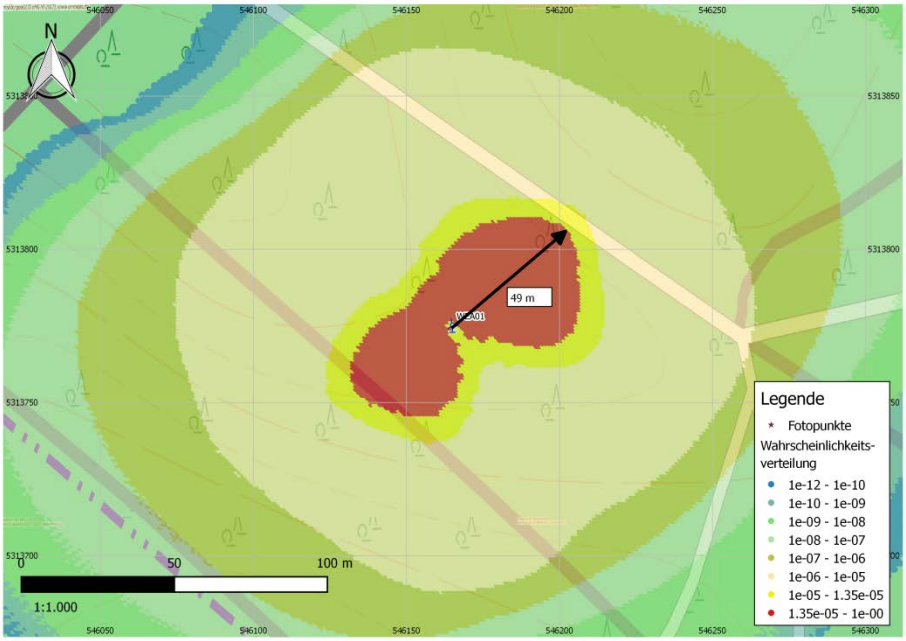

Abbildung 18:Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA01 unter Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten

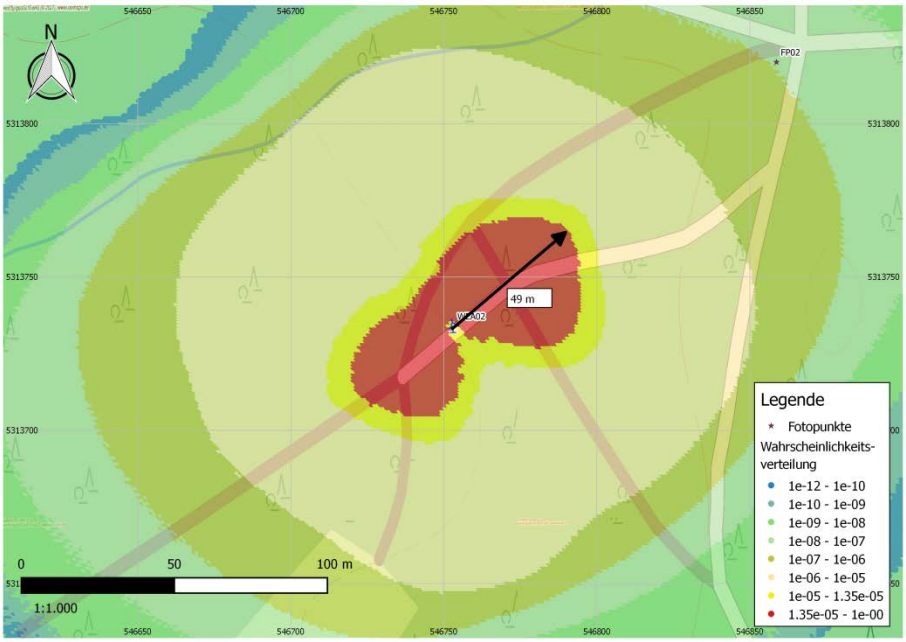

Abbildung 19: Maximale Ausdehnung der Fläche der Grenzwertüberschreitung an WEA02 unter Einbeziehung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten

Der Waldbestand am Standort (siehe Abbildung 3 bis Abbildung 5) ist in die Berechnungen nicht mit eingeflossen, wirkt aber deutlich abschattend auf die betrachteten Waldwege. Die Einbeziehung des vorhandenen Baumbestandes würde zu einer deutlichen Verminderung der angegebenen Wahrscheinlichkeiten führen.

7.2 Wahrscheinlichkeitsberechnung bei Eisabwurf von Anlagen im Trudelbetrieb

Für die Anlagen wurden Berechnungen gemäß den Berechnungsvoraussetzungen aus Tabelle 3 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Anhängen A bis B dargestellt.

Alle kritischen Bereiche sind in den Abbildungen mit einem Rotton markiert.

7.3 Resultate und Empfehlungen

Für den Standort Bad Schussenried kommt es, unter der Voraussetzung, dass die Punkte 2 bis 4 aus Kapitel 7.1, hier vor allem die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen und Kfz, nicht in die Berechnung einfließen, zu Überschreitungen des zugrunde gelegten Grenzwertes für das Individualrisiko von 10^{-6} für den Abwurf von Eis aus dem Trudelbetrieb an den folgenden Wegen (vgl. Anhang A):

- Waldwege nordöstlich und südwestlich der Anlage WEA01
- Waldwege nordöstlich bis südwestlich der Anlage WEA02

Unter Einbeziehung der in Tabelle 4 gemachten Annahmen, kommt es für folgende Wege zu einer Überschreitung des zugrunde gelegten Grenzwertes für das Individualrisiko (vgl. Anhang B):

- Waldweg südwestlich der WEA 01
- Waldwege nordöstlich bis südwestlich der WEA 02

Dabei ist der maximale Abstand der Fläche, in der es zu einer Überschreitung des Grenzwertes für das Individualrisiko kommt, von 99.5 m auf 49 m gesunken.

Die in Tabelle 4 dargestellten Annahmen sind vorsichtige Schätzungen, jedoch nicht statistisch erfasst.

Ein weiterer Faktor, der die Wahrscheinlichkeit reduziert, auf den betrachteten Wegen von Eisschlag verletzt zu werden, ist der Waldbestand am Standort. Dieser hat eine deutlich abschattende Wirkung, die jedoch nicht in die Berechnungen aufgenommen wurde.

Aus Gründen des Personenschutzes und der Arbeitssicherheit wird empfohlen, in Gebieten, in denen die Grenzwahrscheinlichkeit überschritten wird, nach gesicherter Stillsetzung der Anlagen Maßnahmen zur Sicherung und zur Warnung vor Eisschlag zu ergreifen. Dies könnte folgende Vorschläge beinhalten:

- Sicherung des Personals (z.B. Helmpflicht, arbeiten während Eisansatzzeiten nur in überdachten Räumen oder in Fahrzeugen)
- Umgebungssicherung des Einflussbereichs (z.B. Warnschilder)

Für nicht kritische Bereiche, die trotzdem von Eisschlag betroffen sein können, werden Warnhinweise z.B. in Form von Schildern empfohlen. Es wird empfohlen, die Beschilderung in einem Umkreis von 130 m um die Anlagen zu errichten.

8 Klimatologische Ausblicke

Um die Gefährdung durch Eisabwurf für die Zukunft besser abschätzen zu können, ist es sinnvoll, die klimatologische Entwicklung in die Betrachtung einfließen zu lassen. Seit einiger Zeit zeigen sich Tendenzen, die darauf hindeuten, dass klimatologische Veränderungen stattfinden, die über die natürlichen Schwankungen hinausgehen. Für nähere Informationen sei auf entsprechende Fachliteratur, z.B. die Veröffentlichungen des intergovernmental panel on climate change (IPCC) [26], verwiesen.

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat einen Regionalen Klimaatlas Deutschland entwickelt. Dieser leitet aus einer Reihe von Modellrechnungen wahrscheinliche Werte für die Entwicklung wichtiger Parameter ab. Die Berechnungen basieren auf Statistiken für den Zeitraum 1961 – 1990. [27] Für die Einschätzung des Gefährdungspotentials durch Eisabwurf sind im Wesentlichen die Entwicklung der Eistage (Tage, an denen die maximale Lufttemperatur nicht über 0 °C steigt), der Frosttage (Tage, an denen die minimale Lufttemperatur unter 0 °C sinkt) und der Luftfeuchte zu beachten.

Für den zukünftigen Verlauf zeigen die Berechnungen eine weitere Verringerung der Frost- und Eistage (vgl. Abbildung 20 bis Abbildung 22).

Dies gibt einen Hinweis darauf, dass die Wahrscheinlichkeit des Eisansatzes an Windkraftanlagen für diese Region in Zukunft abnehmen wird.

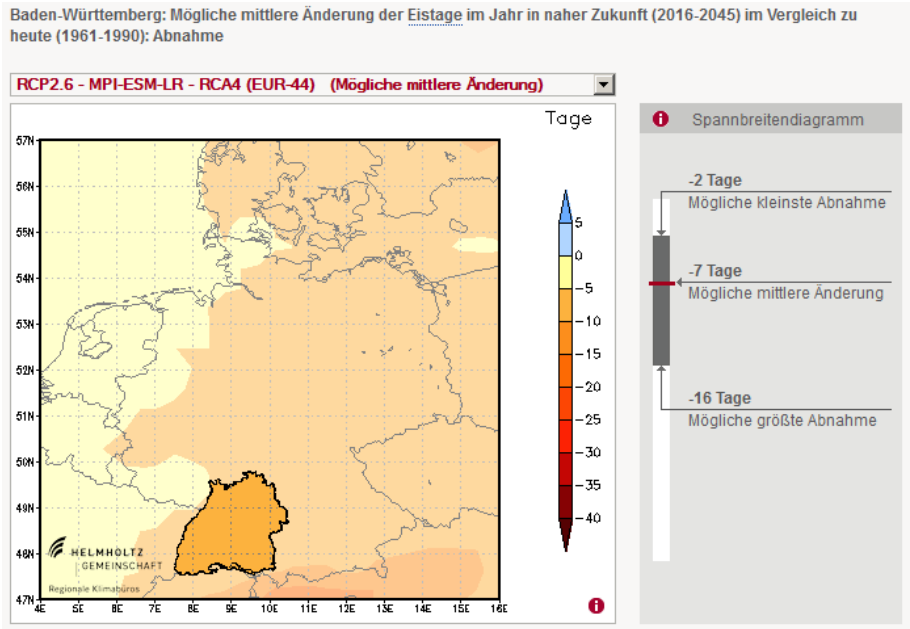

Abbildung 20: Mittlere Änderung der Eistage nach dem Regionalen Klimaatlas Deutschland für den Zeitraum 2016-2045 für die Region Baden-Württemberg [27]

Nach aktuellen Berechnungen wird für die Region Baden-Württemberg in naher Zukunft mit einer Abnahme der Eistage gerechnet. Alle Modelle zeigen eine Abnahme, variieren aber in deren Höhe zwischen -2 und -16 Tagen. Als Eistage werden hierbei Tage angesehen, an denen die maximale Lufttemperatur nicht über 0 °C steigt. Die mögliche mittlere Änderung beträgt -7 Tage. Die mögliche mittlere Änderung ist das Ergebnis der Klimarechnung, die dem Mittel aller Klimarechnungen am nächsten kommt. Dabei ist zu beachten, dass dieser Wert nicht wahrscheinlicher ist, als jeder andere Wert innerhalb der angegebenen Spannbreite. [27]

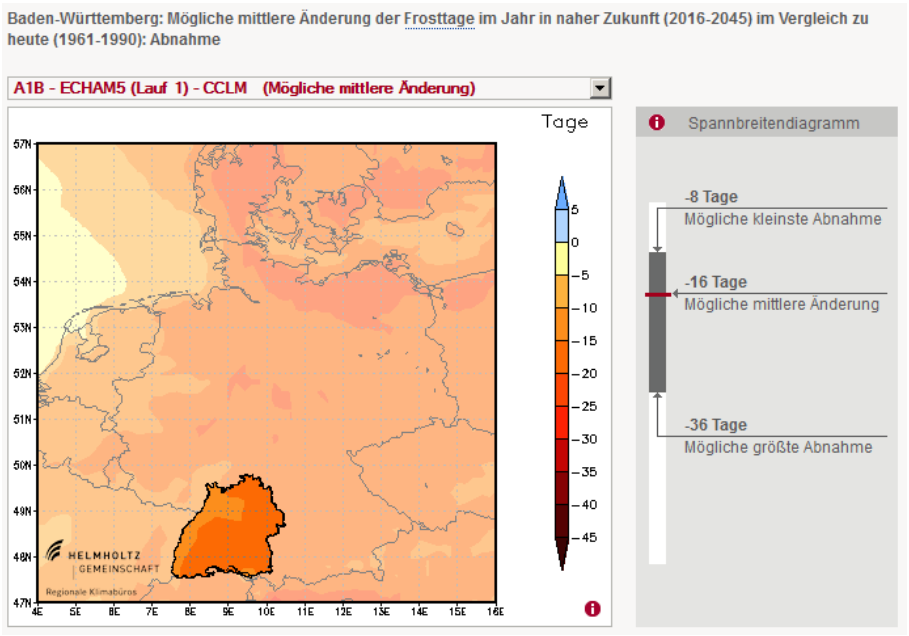

Abbildung 21: Mittlere Änderung der Frosttage nach dem Regionalen Klimaatlas Deutschland für den Zeitraum 2016-2045 für die Region Baden-Württemberg [27]

Nach aktuellen Berechnungen wird eine Abnahme der Frosttage zwischen -8 und -36 Tagen erwartet. Auch hier ist der Trend in allen Modellen zu erkennen. Frosttage sind Tage, an denen die minimale Lufttemperatur unter 0 °C fällt. Die mögliche mittlere Änderung beträgt -16 Tage. [27]

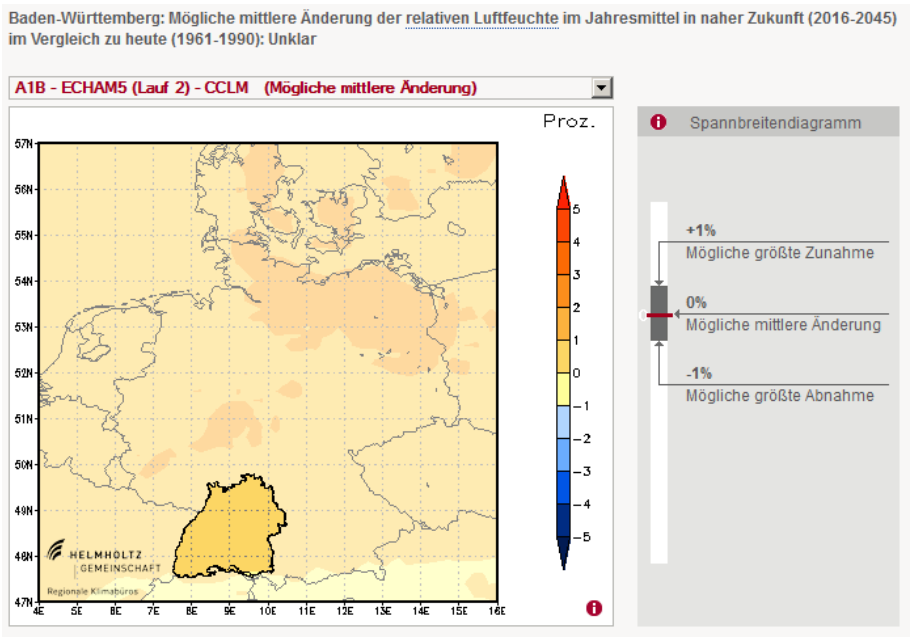

Abbildung 22: Mittlere Änderung der relativen Luftfeuchte nach dem Regionalen Klimaatlas Deutschland für den Zeitraum 2016-2045 für die Region Baden-Württemberg [27]

Über die Änderung der Luftfeuchte in Naher Zukunft für die Region Baden-Württemberg können nach aktuellen Klimaberechnungen keine belastbaren Aussagen getroffen werden. [27]

9 Zusammenfassung

In diesem Gutachten wird das Gefährdungspotential durch Eisabwurf am Standort Bad Schussenried bewertet.

Hierfür wurden worst-case-Szenarien für den Abwurf der gesamten Eismasse des Rotors im Trudelbetrieb berechnet.

Es konnte gezeigt werden, dass es bei nicht Einbeziehung der in Kapitel 7 genannten Punkte 2 bis 4 und dabei hauptsächlich der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen und Kfz, zu einer Überschreitung des zugrunde gelegten Grenzwertes für das Individualrisiko von $1^* 10^{-6}$ auf verschiedenen Waldwegen im Windparkgebiet kommt.

Unter Einbeziehung der vorsichtig geschätzten Werte für die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen und Kfz aus Tabelle 4 kommt es zu einer Überschreitung auf einem deutlich kleineren Gebiet (vgl. Anhang A und B). Als weiterer reduzierender Faktor ist der Waldbestand zu nennen, der eine deutlich abschirmende Wirkung hat, die im Gutachten allerdings nicht berücksichtigt wurde.

Unter der Voraussetzung der Korrektheit der in Tabelle 4 angenommenen Werte für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen und Kfz kann, aus Sicht der Deutsche WindGuard Consulting GmbH, für alle öffentlichen Bereiche in der Umgebung der WEA, mit Ausnahme der in Kapitel 7 genannten und in Anhang B dargestellten Gebiete, das Eisschlagrisiko als zu vernachlässigend eingeschätzt werden.

10 Literaturverzeichnis

[1] Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, „Loipenplan Atzenberger Höhe," Druckerei ABT, Bad Schussenried, Bad Schussenried.

[2] Vestas, „Safety system, general description," 2016.

[3] Bosch Rexroth Monitoring Systems GmbH, „BLADEcontrol Greater output - less risk," Dresden, 2012.

[4] Vestas, „Allgemeine Spezifikation BLADEcontrol Ice Detector," 2016.

[5] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH Renewables Certification, „Gutachten, Ice Detection System, BLADEControl Ice Detector BID," 2014.

[6] S. Fikke, G. Ronsten, A. Heimo, S. Kunz, M. Ostrozlik, P.-E. Persson, J. Sabata, B. Wareing, B. Wichura, J. Chum, T. Laakso, K. Säntti und L. Makkonen, „COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art," Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Meteo Schweiz, 2006.

[7] International Electrotechnical Comission, *IEC 61400-1 (3rd edition) Wind turbines - Part 1: Design requirements,* Genf: International Electrotechnical Comission, 2005.

[8] H. Seifert, „Technical requirements for rotor blades operating in cold climate," Pyhätunturi, Finland, 2003.

[9] N. Erdmann, *Untersuchungen zur Vereisung von Windenergieanlangen,* Braunschweig, 1995.

[10] Finnish Meteorological Institute, „Wind Energy Production in Cold Climate (WECO) - Joule III".

[11] M. Durstewitz, „Windenergie in kalten Klimaregionen," *Erneuerbare Energien,* pp. 34-35, 12 2003.

[12] C. Morgan, E. Bossanyi und H. Seifert, „Assessment of safety risks arising from wind turbine icing," Finnland, 1998.

[13] H. Seifert, A. Westerhellweg und J. Kröning, „Risk analysis of ice throw from wind turbines," Phyätunturi, Finnland, 2003.

[14] EMD, „EMD ConWx Mesoscale Data," [Online]. [Zugriff am 05 2015].

[15] EMD International A/S, „http://www.emd.dk/windpro/," [Online].

[16] EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Projektentwicklung Windenergie, „AW: Gutachtenerstellung Schall-, Schatten-, Eisfall für Bad Schussenried #VC16415," 2016.

[17] Vestas, „Zitat in AW: Gutachtenerstellung Schall-, Schatten-, Eisfall für Bad

Schussenried #VC16415," 2016.

[18] DNV CONSULTING, „Vergleichendes Gutachten: Praxis bei der Ermittlung von Betrieben nach der Seveso-II-Richtlinie in Europa und entsprechenden Betrieben in Nordamerika," Essen, 2005.

[19] Germanischer Lloyd, *Richtlinien für die Zertifizierung von Windenergieanlagen,* Hamburg: Selbstverlag der Germanischer Lloyd Windenergie GmbH, 2004.

[20] H. Seifert, „Risikoabschätzung des Eisabwurfs von Windenergieanlagen," Andermatt, 2007.

[21] H. Seifert, *Eisansatz an Rotorblättern,* Eis & Fels 07; Andermatt / Schweiz, 2007.

[22] Germanischer Lloyd, „Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen," 2010.

[23] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN ISO 16708:2006,* Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2006.

[24] U. &. M. M. Hauptmanns, Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen, Bd. 18, Verlag VdTÜV, 2010.

[25] Skilanglauf - Loipe Atzenberger Höhe e.V., *Stellungnahme zu den geplanten 2 Windanlagen von EnBW auf der Atzenberger Höhe,* Hochdorf, 2016.

[26] IPCC intergovernmental panel on climate change, „IPCC intergovernmental panel on climate change," [Online]. Available: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml #1. [Zugriff am 29 April 2012].

[27] Helmholtz-Gemeinschaft, „Regionaler Klimaatlas Deutschland," [Online]. Available: http://www.regionaler-klimaatlas.de/. [Zugriff am Januar 2014].

[28] R. Gasch und J. Twele, Windkraftanlagen, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010.

11 Anhang

A. Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Eisabwurf aus dem Trudelbetrieb im Windpark Bad Schussenried

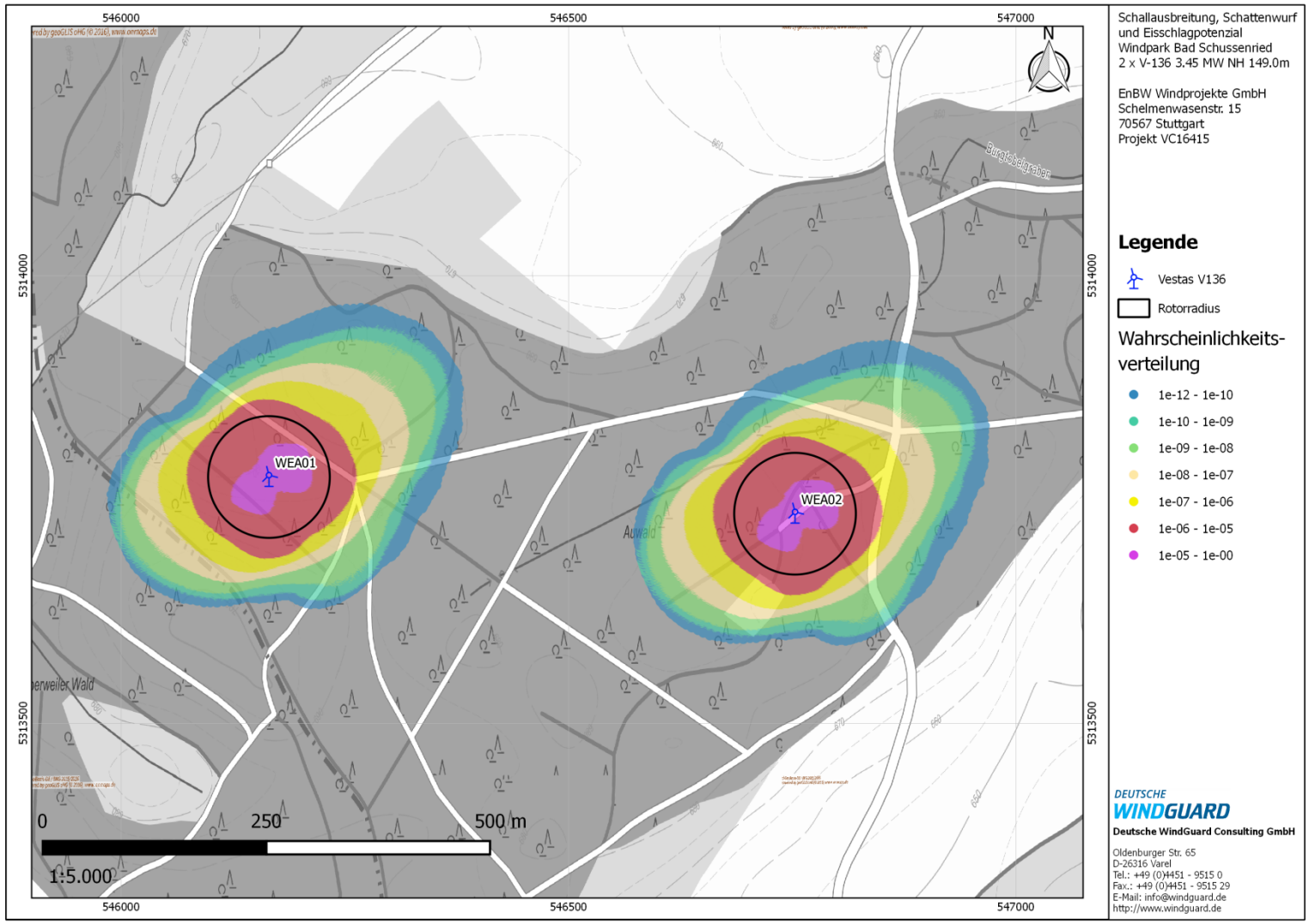

Abbildung 23: Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Eisabwurf im Trudelbetrieb im Windpark Bad Schussenried

B. Wahrscheinlichkeitsverteilung bei Eisabwurf von in Betrieb befindlichen Anlagen von der Blattspitze sowie von Anlagen im Trudelbetrieb am Standort Bad Schussenried unter Einbeziehung der in Tabelle 4 gemachten Annahmen

Die Einbeziehung der in Tabelle 4 gemachten Annahmen zur Frequentierung der Wege mit Personen und Kfz, welche statistisch für das betrachtete Gebiet nicht gesichert sind, aber als vorsichtige Schätzungen angesehen werden können und somit als Grundlage für ein realitätsnahes Rechenbeispiel zu betrachten sind, führt zu einer Veränderung der zulässigen Wahrscheinlichkeit für Eisschlag von der Anlage, wobei die Grenzwahrscheinlichkeit für das Individualrisiko mit $1*10^{-6}$ unverändert bleibt (vgl. Kapitel 7.1). Eisschlagwahrscheinlichkeiten von $>1.35*10^{-5}$ führen zu einer Überschreitung der kombinierten Grenzwahrscheinlichkeit (Grenzwahrscheinlichkeit für das Individualrisiko) von $1*10^{-6}$. Demzufolge sind nur Bereiche mit einer Eisschlagwahrscheinlichkeit von $> 1.35*10^{-5}$ in der folgenden Abbildung rot markiert.

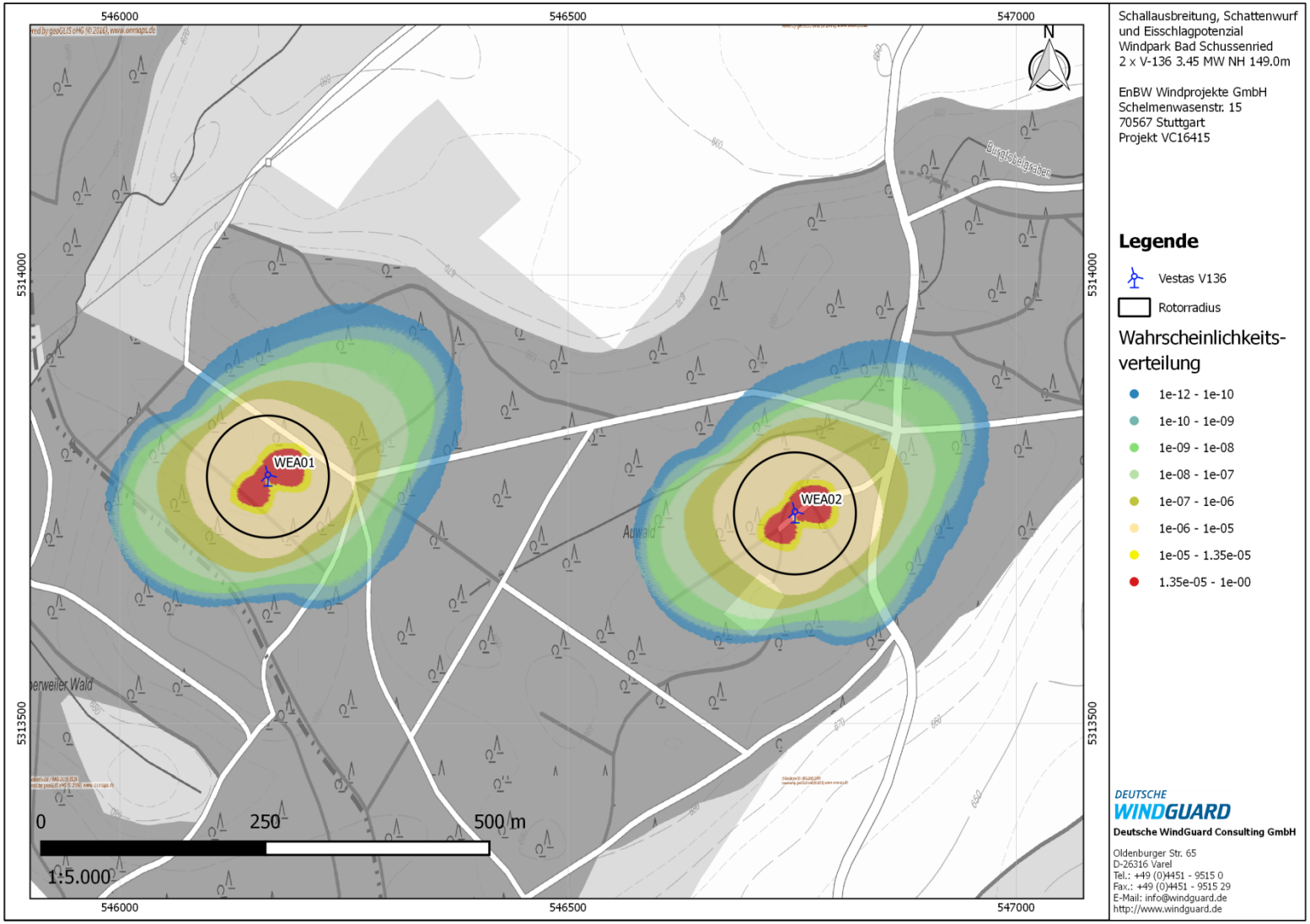

Abbildung 24 Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Eisabwurf im Trudelbetrieb am Standort Bad Schussenried unter Einbeziehung der in Tabelle 4 gemachten Annahmen

C. Loipenplan der Atzenberger Höhe

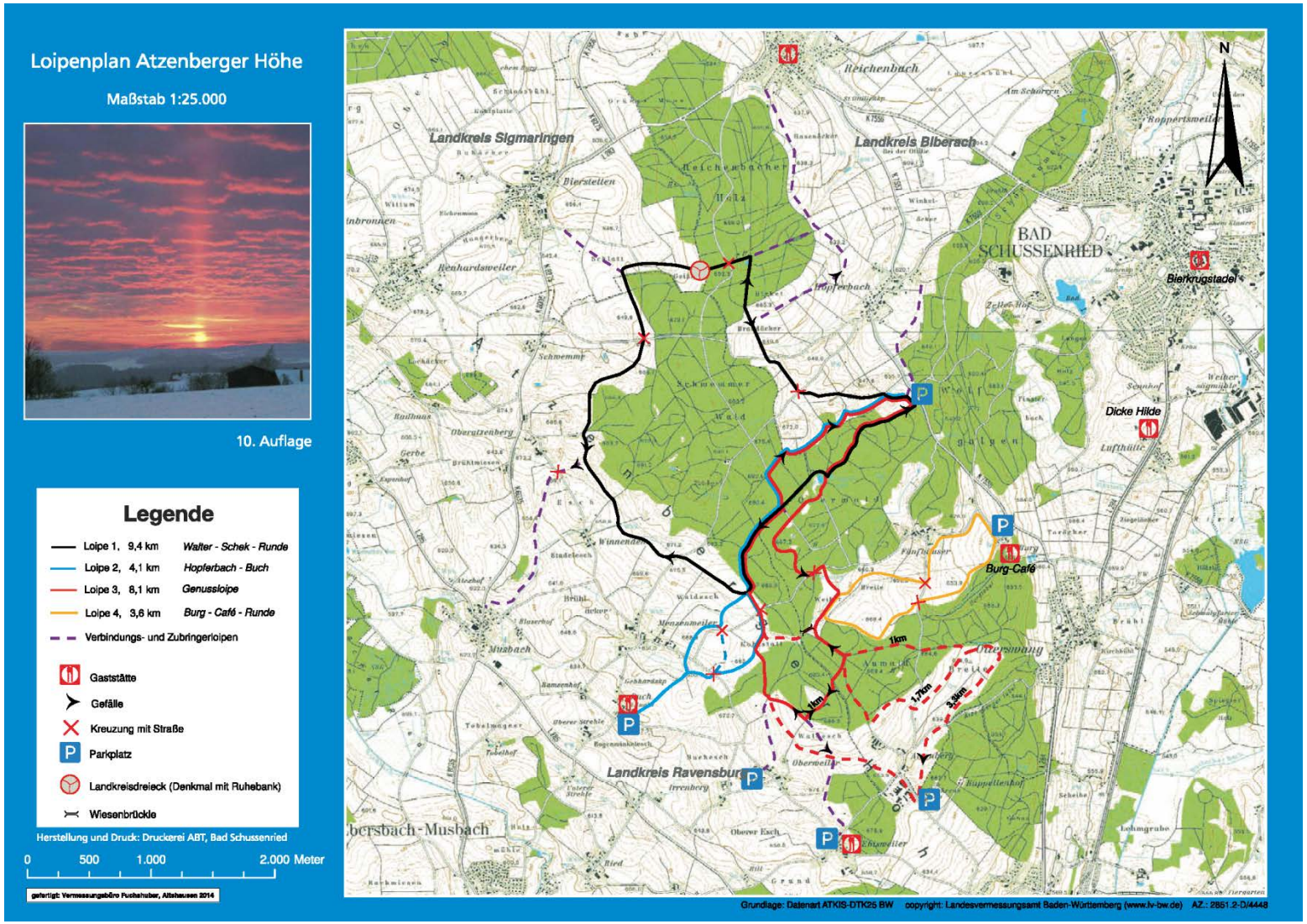

Abbildung 25: Loipenplan Atzenberger Höhe