

Eisfallgutachten für  
vier Windenergieanlagen  
am Standort

**Trischelwald**  
(Baden-Württemberg)

Datum: 09.09.2025

23-1-3225-000-EN

Auftraggeber:

ATE Windpark Trischelwald GmbH & Co. KG

Kleinoberfeld 5 | 76135 Karlsruhe

Auftragsnummer: 352007004

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Christoph Naab, M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Das vorliegende Eisfallgutachten für den Standort Trischelwald (Baden-Württemberg) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im Dezember 2023 von der ATE Windpark Trischelwald GmbH & Co. KG in Auftrag gegeben.

Alle Rechte an diesem Bericht sind der Ramboll Deutschland GmbH vorbehalten. Dieses Dokument darf, mit Ausnahme des Auftraggebers, der Genehmigungsbehörden und der finanzierenden Banken, weder in Teilen noch in vollem Umfang ohne vorherige schriftliche Zustimmung der Ramboll Deutschland GmbH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Nr.	Datum	Bearbeiter/In	Beschreibung
000	02.04.2024	C. Naab	Planung von vier Windenergieanlagen des Typs Nordex N163
001	06.11.2024	C. Naab	Koordinatenänderung
002	04.09.2025	C. Naab	Änderung Vorbelastungsanlagen

Kassel, 09.09.2025



Christoph Naab, M.Sc.  
(Bearbeiter)



Astrid v. Kameke, M. Sc.  
(Prüfer)

## Inhalt:

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>6</b>
2.1	Windenergieanlagen	6
2.2	Automatische Eisabschaltung	6
2.3	Vereisungspotential	8
2.4	Windrichtungsverteilung	10
2.5	Rechtlicher Rahmen	11
<b>3</b>	<b>Gefährdungsbereiche</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Risikoanalyse</b>	<b>21</b>
4.1	Grundlagen der Risikoermittlung	21
4.2	Grundlagen Bewertung des Risikos	22
4.3	Risikoanalyse am Standort Trischelwald	24
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>28</b>

# 1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant am Standort Trischelwald zwischen den Orten Igelsberg im Süden und Schönegründ im Nordwesten vier Windenergieanlagen (WEA) des Typs Nordex N163 mit 164 m Nabenhöhe zu errichten. Vor Ort bestehen bereits acht WEA bzw. befinden sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium, die nächstgelegenen WEA werden als Vorbelastung betrachtet.

Für die Genehmigung ist eine Untersuchung zum Risiko durch Eisfall der geplanten WEA vorzulegen. Dazu soll die Wahrscheinlichkeit des Eisfalls und die Flugweite der Eisstücke der Windenergieanlagen ermittelt werden. Weiterhin wird eine Risikobewertung des Eisfalls für die am Standort vorbeiführenden Straßen und Wege sowie sonstige Aufenthaltsbereiche von Menschen durchgeführt und die damit verbundene mögliche Gefährdung für Menschen abgeschätzt.

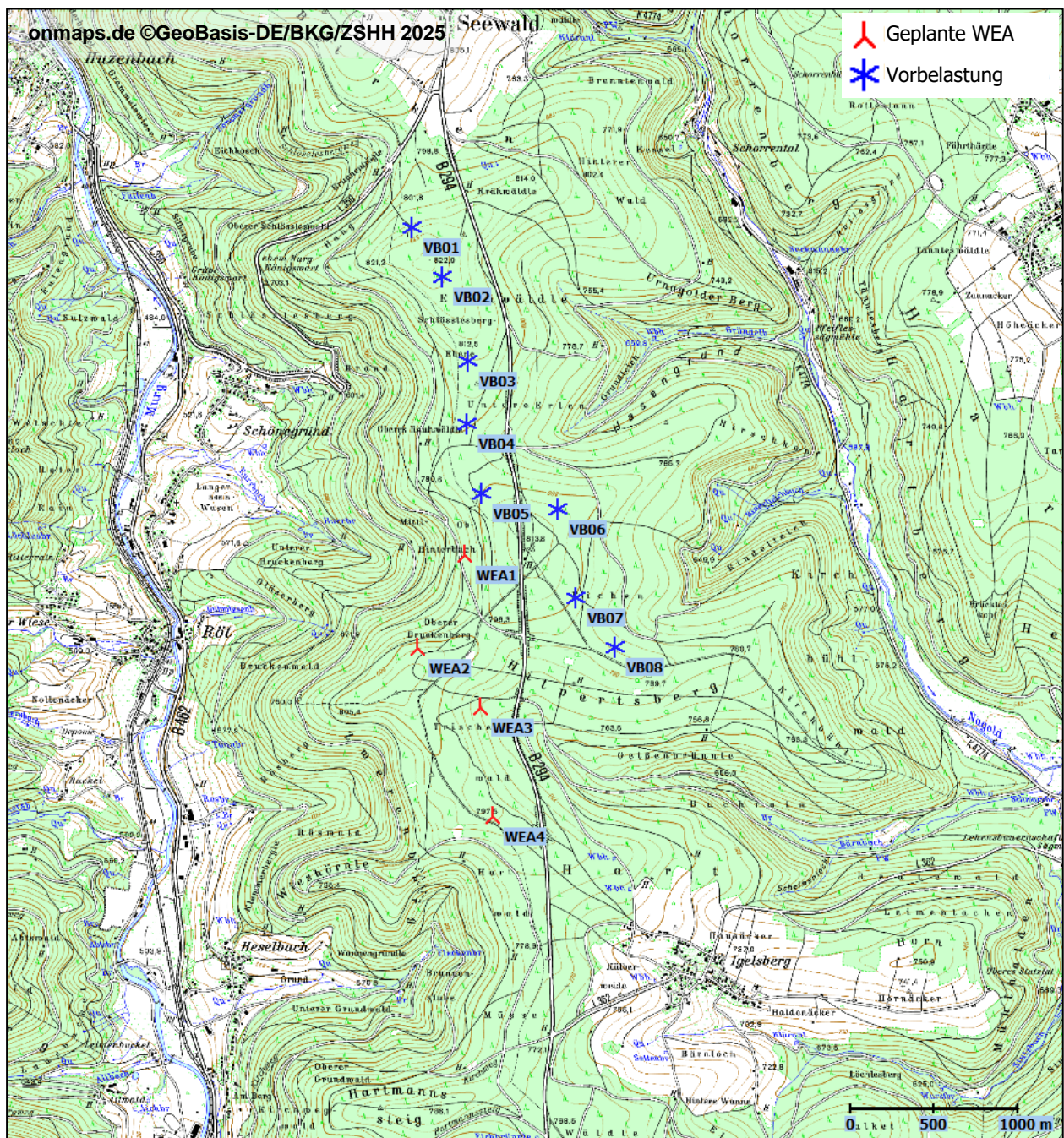


Abbildung 1: Übersichtskarte (TK-25)

## 2 Grundlagen

### 2.1 Windenergieanlagen

Am Standort Trischelwald sind vier Windenergieanlagen des Typs Nordex N163 geplant. Nördlich bzw. nordöstlich der geplanten Standorte befinden sich acht weitere WEA. Die WEA VB 04, VB 05, VB 06, VB 07 und VB 08 werden auf ihre Relevanz als Vorbelastung überprüft. Die Koordinaten und Kenndaten der WEA können Tabelle 1 entnommen werden.

**Tabelle 1: WEA-Kenndaten**

Nr.	Typ	Naben- höhe [m]	Rotor- durch- messer [m]	Gesamt- höhe [m]	UTM 32, ETRS89		Art <sup>*)</sup>
					Ost	Nord	
<b>WEA 1</b>	Nordex N163	164	163	245,5	457.333	5.378.851	ZB
<b>WEA 2</b>	Nordex N163	164	163	245,5	457.054	5.378.299	ZB
<b>WEA 3</b>	Nordex N163	164	163	245,5	457.430	5.377.943	ZB
<b>WEA 4</b>	Nordex N163	164	163	245,5	457.504	5.377.292	ZB
<b>VB 04</b>	Nordex N149	164	149	238,5	457.347	5.379.633	VB
<b>VB 05</b>	Nordex N149	164	149	238,5	457.437	5.379.215	VB
<b>VB 06</b>	Nordex N149	164	149	238,5	457.888	5.379.122	VB
<b>VB 07</b>	Nordex N149	164	149	238,5	457.995	5.378.593	VB
<b>VB 08</b>	Nordex N133	164	133	230,5	458.228	5.378.304	VB

<sup>\*)</sup> ZB: Zusatzbelastung, VB: Vorbelastung.

### 2.2 Automatische Eisabschaltung

Für Windenergieanlagen stehen verschiedene Eiserkennungsmöglichkeiten zur Verfügung, welche die Anlagen bei Eisansatz stoppen. Bei Signalisierung eines der unten beschriebenen Mechanismen wird die Windenergieanlage bei Vereisung standardmäßig abgeschaltet und geht in den Trudelbetrieb über. Aufgrund der automatischen Eisabschaltung kommt es zu keinem Eiswurf im Leistungsbetrieb. Ein Trudelbetrieb mit drei Umdrehungen pro Minute wird in den folgenden Berechnungen berücksichtigt.

Die folgenden Mechanismen detektieren Eis am Rotorblatt:

- Eiserkennung durch Unwuchten und Vibration:

Induziert durch Parameter wie Luftfeuchtigkeit, Temperaturunterschiede und Windströmungsrichtung erfolgt der Eisansatz an den Rotorblättern in der Regel ungleichmäßig, so dass ein Gewichtsunterschied zwischen den Blättern entsteht. Dieser Unterschied führt zu Unwuchten im Antriebsstrang, die wiederum zu Vibrationen in der Gondel und im Turm der WEA führen. Die standardmäßig eingebaute Turmschwingungsüberwachung erkennt zu hohe Vibrationen und stoppt die Anlage.

- Eiserkennung durch Betriebsparameterabgleich:  
Während der Betriebsdauer der WEA werden Betriebsparameter wie Windgeschwindigkeit und Leistung aufgezeichnet und mit Soll-Werten der Anlage verglichen. Eisansatz an den Rotorblättern führt zu aerodynamischen Unregelmäßigkeiten, wodurch sich die Leistung reduziert und so von dem Sollwert abweicht. Die Anlage wird bei Abweichen von den Sollwerten gestoppt, um auf Eisansatz zu reagieren.
- Eiserkennung durch Abgleich der gemessenen Windgeschwindigkeiten:  
Die Windgeschwindigkeit wird bei der WEA durch ein Ultraschallanemometer sowie durch ein Schalensternanemometer gemessen. Die Schalen des Schalensternanemometers können zufrieren. Durch einen kontinuierlichen Vergleich der beiden gemessenen Windgeschwindigkeiten kann eine Vereisung zeitnah festgestellt und die Windenergieanlage abgeschaltet werden.

In diesem Gutachten wird vorausgesetzt, dass mindestens ein entsprechender Detektionsmechanismus in die Steuerung der geplanten WEA eingebaut wird.

Des Weiteren sind i.d.R. derartige technische Einrichtungen im Rahmen der verpflichtenden, wiederkehrenden Prüfung zur Standsicherheit bzw. bei Wartung der Anlagen mit zu prüfen und unterliegen somit einer turnusmäßigen Funktionsfähigkeitsprüfung [2] [3]. Dementsprechend wird der Funktionssicherheit der automatischen Eisabschaltung genügend Rechnung getragen und es bedarf keiner weitergehenden deterministischen Risikoabschätzung.<sup>1</sup> Besondere deterministische Sicherheitskonzepte zu Abschaltssystemen bei Eisansatz sind bei Windenergieanlagen in aller Regel nicht gefordert. Einzuhalten ist der Stand der Technik i.S.d. §

---

<sup>1</sup> Vgl. auch VG Minden, Beschluss v. 13.12.2012 – 11 L 529/12.

49 I i.V.m. Abs. 2 Nr. 1 EnWG<sup>2</sup> i.V.m. § 5 I BImSchG<sup>3</sup>. Entsprechend müssen die technischen Einrichtungen zur automatischen Abschaltung durch eine gutachterliche Stellungnahme auf die Funktionssicherheit geprüft werden.<sup>4</sup> Dies ist i.d.R. der Fall und wird hier angenommen.

## 2.3 Vereisungspotential

Vereisungen an Rotorblättern sind verschiedenartig und von diversen meteorologischen Bedingungen abhängig. Sie unterliegen bestimmten Wetterlagen, die mehrere Tage oder Wochen anhalten können. Eisansatz kann das gesamte Rotorblatt oder auch nur Teile, meist im Blattspitzenbereich, umfassen und entsteht im Wesentlichen durch Kondensation oder Sublimation des Wasserdampfes in der Luft. Die Eisbildung erfolgt am Blatt sowohl an der Vorder- und/oder Hinterkante, als auch an der Spitze, welche den höchsten Rotationsgeschwindigkeiten ausgesetzt ist.

Zur Abschätzung des Vereisungspotentials werden auf Grund des Fehlens realer Messdaten für den Standort Reanalysedaten des Europäischen Zentrums für Mittelfristvorhersage (ECMWF) [4] herangezogen. Die ERA-5 Daten sind Ergebnisse von Computersimulationen mit dem WRF-Modell (Weather Research & Forecasting Model) und beruhen auf Reanalysen des ECMWF. Die Daten werden mit Hilfe einer mesoskaligen WRF-Modellkaskade bis auf eine Auflösung von drei Kilometer herunterskaliert. Die Güte des Reanalysedatensatzes wird anhand von verschiedenen realen Messwerten in unterschiedlichen Regionen überprüft und kann zur Abschätzung eines möglichen Eisansatzes herangezogen werden. Für die Analyse wird ein Langzeitdatensatz für den Zeitraum 1999 bis einschließlich 2023 in stündlicher Auflösung herangezogen. Als Eingangsdaten werden folgende Parameter verwendet:

- Temperatur in 200 m ( $T_{200}$ ) über Grund;
- Relative Luftfeuchtigkeit (RF) in 200 m über Grund.

Zur Abschätzung des Vereisungspotenzials werden zwei Szenarien berechnet. Anhand der Datengrundlage und der Komplexität der meteorologischen Situationen können die folgenden Betrachtungen nur eine Abschätzung des möglichen Vereisungspotenzials geben. Szenario 1 zeigt

---

<sup>2</sup> Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das durch Artikel 6 des Gesetzes vom 13. Oktober 2016 (BGBl. I S. 2258) geändert worden ist.

<sup>3</sup> Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist.

<sup>4</sup> Vgl. Windenergie-Erlass NRW

auf wie viele Tage mit Vereisungsbedingungen (Eistage) meteorologisch im Jahr am Standort Trischelwald durchschnittlich vorkommen können und dient der Überprüfung der Datengüte. Szenario 2 zeigt dagegen auf, an wie vielen Tagen im Jahr mit Eisansatz an den Rotorblättern zu rechnen ist.

Ein Eistag ist ein Tag, an dem meteorologisch das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (unter 0,0 °C) liegt, d.h. es herrscht Dauerfrost [5]. In Szenario 1 wird dieses Kriterium unter Zuhilfenahme des ERA-5-Datensatzes angewandt. Für die Referenzperiode 1999 bis einschließlich 2023 ergeben sich durchschnittlich 42 Eistage pro Jahr, was einer Häufigkeit von ca. 11,4 % entspricht. Eine Analyse des Deutschen Wetterdienstes stützt diese Ergebnisse, in der 20 bis 30 Eistage für die Referenzperiode 1971 bis 2000 berechnet worden sind [6]. In der Analyse des DWD wurden reale Stationsdaten mittels statistischer Verfahren auf eine Gitterstruktur mit 1-km Raster übertragen. Eine Darstellung befindet sich im Anhang.

Das zweite Szenario berücksichtigt zusätzlich den Einfluss der Luftfeuchtigkeit (RF), um mögliche Vereisungen der Rotorblätter abzuschätzen und das Potential für Eisansatz am Standort Trischelwald zu ermitteln. Aufgrund der Komplexität der Atmosphäre sowie der zur Verfügung stehenden messbaren meteorologischen Parameter kann nur eine Abschätzung des tatsächlichen Vereisungspotentials erfolgen.

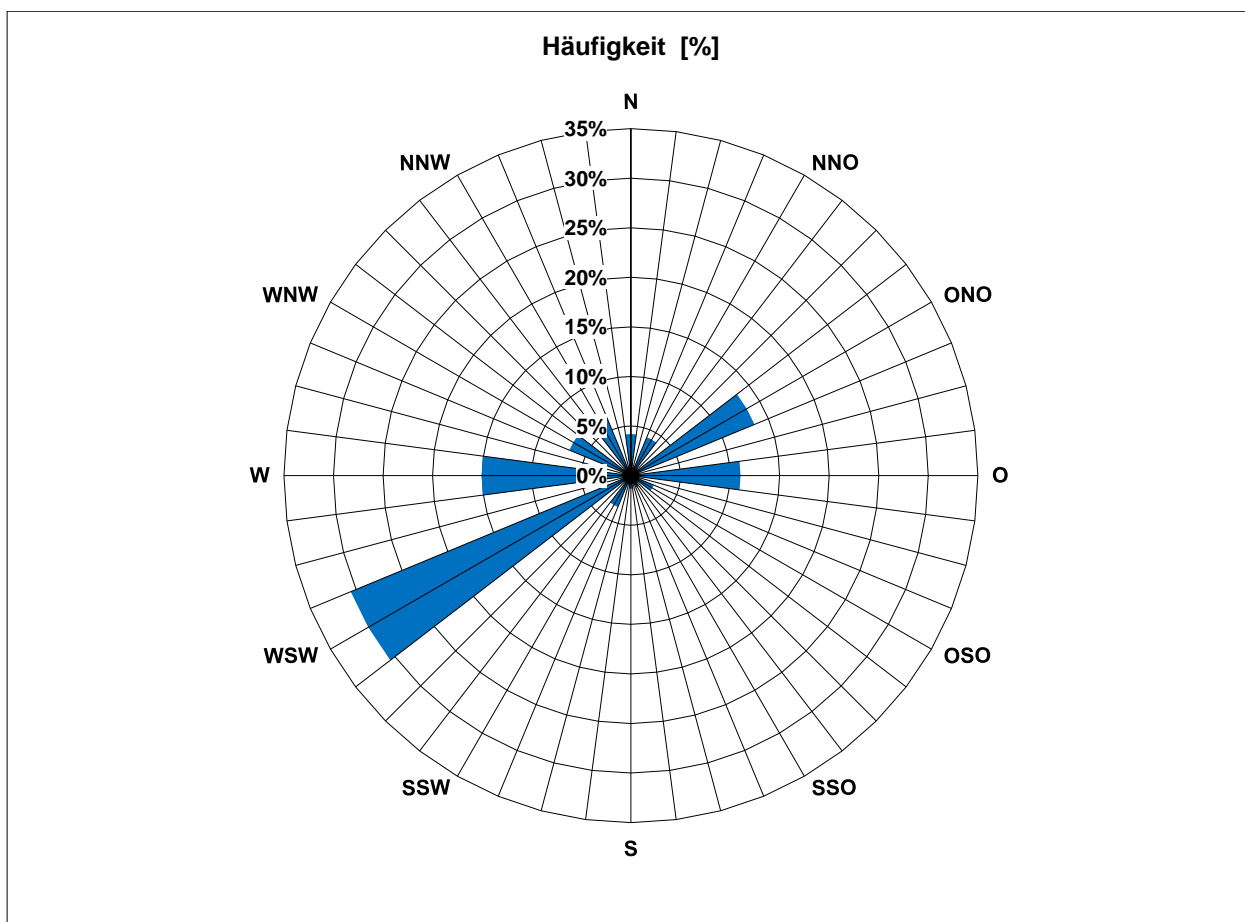
Als Kriterium für Eisansatz werden nur Daten mit der Bedingung  $T_{200} \leq 2 \text{ °C}$  und  $RF \geq 95 \text{ %}$  verwendet. Hier wird im Gegensatz zu Szenario 1 die Temperatur leicht oberhalb des Gefrierpunktes berücksichtigt, da unter diesen Bedingungen bereits mit Eisansatz zu rechnen ist. Als Daten der relativen Luftfeuchte werden konservativ alle Werte  $\geq 95 \text{ %}$  zugelassen.

Daneben werden Faktoren, wie die Inkubationszeit und die Erholungsphase, berücksichtigt. Die Inkubationszeit ist die Zeit, die benötigt wird, bis es zu einem tatsächlichen Eisansatz an der WEA kommt. Die Dauer ist dabei u.a. abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit als auch deren Temperatur, dem Wassergehalt sowie der Größe der Wassertropfen in der Luft. Die Erholungsphase ist die Zeit, in der das Eis schmilzt (sublimiert) und abfällt.

Die Auswertung der Jahre 1999 bis einschließlich 2023 für den Standort Trischelwald ergibt im Durchschnitt 7 Vereisungstage pro Jahr. Die jährliche Vereisungshäufigkeit entspricht somit etwa 1,8 %. Diese Werte werden in der folgenden Risikoanalyse herangezogen.

## 2.4 Windrichtungsverteilung

Die Windrichtungsverteilung der im Kapitel 2.3 zugrunde gelegten Daten nach Anwendung des Kriteriums  $T_{200} \leq 2 \text{ °C}$  und  $RF \geq 95 \text{ %}$  (Szenario 2) ist in Abbildung 2 dargestellt. Die verwendete Windgeschwindigkeit und -richtung beziehen sich auf eine Höhe von 200 m über Grund. Die gezeigten Windgeschwindigkeiten unterliegen keiner Skalierung und repräsentieren den „worst-case“. Die Hauptwindrichtungen (Referenzperiode 1999 bis einschließlich 2023) sind Westsüdwest (30,6 %), West (15,1 %) und Ostnordost (13,5 %). In der Windrichtung Westsüdwest treten auch die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten mit bis zu 14,1 m/s auf (vgl. Tabelle 2).



**Abbildung 2: Windrose der gefilterten Daten in 200 m Höhe nach Szenario 2 für die Jahre 1999 bis einschließlich 2023 am Standort Trischelwald**

**Tabelle 2: Mittlere Windgeschwindigkeit und Häufigkeit in 200 m Höhe in Abhängigkeit der Windrichtung der gefilterten Daten nach Szenario 2 für die Jahre 1999 bis einschließlich 2023 am Standort Trischelwald**

Windrichtungssektor	Häufigkeit [%]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]
N	4,2	6,5
NNO	4,2	6,6
ONO	13,5	8,4
O	11,0	7,8
OSO	2,5	4,4
SSO	1,3	4,1
S	1,3	7,9
SSW	3,4	11,3
WSW	30,6	14,1
W	15,1	11,1
WNW	6,7	8,4
NNW	6,2	7,9

## 2.5 Rechtlicher Rahmen

Spezifische Regelungen zum Umgang mit Risiken aufgrund von Vereisungserscheinungen an WEA kennt das deutsche Recht nicht. Entsprechend kommen insbesondere allgemeine Rechtsregelungen nach Bau- und Anlagenrecht in Betracht, um die Genehmigungsfähigkeit der WEA zu bewerten und so die Fragen des Risikos bzw. erforderlicher Vorsorge- und/oder Abwehrmaßnahmen zu beantworten. Eisfallerscheinungen erfüllen zwar nicht den Tatbestand der schädlichen Umwelteinwirkung i.S.d. § 3 I u. II BImSchG, könnten allerdings als sonstige Gefahren i.S.d. § 5 I Nr. 2 BImSchG gelten [7]. Auch hat sich die Frage der Risikobewertung am bau- bzw. bauordnungsrechtlichen Regelungsgehalt zu orientieren, das im Rahmen der Genehmigungsvoraussetzungen i.S.d. § 6 I Nr. 2 i.V.m. § 13 BImSchG zu beachten ist. Zum Beispiel sind gemäß § 3 I LBO<sup>5</sup> bauliche Anlagen so anzuordnen und zu errichten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht bedroht

<sup>5</sup> Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2010, (GBl. Nr. 7, S. 588).

werden und dass sie ihrem Zweck entsprechend ohne Missetände benutzbar sind. Der Inhalt des § 3 I LBO ist Ausdruck der staatlichen Schutzpflichten abgeleitet aus den Grundrechten nach Art. 2 II 1 GG und Art. 20a GG, mithin die Vorsorge und Schutz vor potenziellen Gefahren zur Sicherheit der Grundrechte. Allerdings muss nicht mit absoluter Sicherheit eine Grundrechtsgefährdung ausgeschlossen werden, da dies jegliche Nutzung von Technik ausschließen würde.<sup>6</sup> Entsprechend stellt sich die Frage ‚Wie sicher ist sicher genug?‘ bzw. wie ist das Risiko von Eisfall von WEA angesichts der staatlichen Schutzpflichten zu bewerten?

Unter dem Begriff des Risikos wird die Möglichkeit eines ungewissen Schadenseintritts verstanden. Hierbei kommt dem Begriff der Gefahr eine „Schlüsselrolle“ zu, denn nicht jede Möglichkeit eines Schadenseintritts begründet auch eine Gefahr, die nicht hinzunehmen und entsprechend abzuwehren ist. Die Annahme der Gefährdungsbegründetheit steigt mit der Schwere und Häufigkeit des möglicherweise anzunehmenden Schadensausmaßes und Schadenseintritts [7].

Die Rechtsprechung hat die Frage des Risikos im Zusammenhang mit Vereisungserscheinungen bei WEA in diversen Entscheidungen tiefergehend betrachtet.<sup>7</sup> Danach ist zunächst eine Gefährdung durch Eiswauf anzunehmen und im Einzelfall zu bewerten. Bei installierten Eiserkennungs- bzw. Eissensoren und entsprechender Abschaltung der Anlage besteht i.d.R. eine Gefährdung durch Eiswauf nicht mehr.<sup>8</sup> Eisdetektionssysteme können das Restrisiko – gemessen am „Maßstab der praktischen Vernunft“<sup>9</sup> – maximal erforderlich minimieren.<sup>10</sup> Anzumerken in diesem Zusammenhang ist, dass bei Fehlen von Eiserkennung oder Sensoren die Genehmigungsfähigkeit nicht zwingend in Frage gestellt ist. Beispielsweise reichen nach den Windenergieerlassen Niedersachsen und Bayern auch entsprechende Abstände zu den nächstgelegenen gefährdeten Objekten (1,5 x [Rotordurchmesser + Nabenhöhe]) und es bedarf keiner gesonderten technischen Schutzeinrichtungen. Verbliebende Risiken können als „allgemeine Lebensrisiken“ eingestuft werden.<sup>11</sup>

---

<sup>6</sup> BVerfGE 49, 89 (142 f.).

<sup>7</sup> VG Ansbach, Beschluss v. 19.12.2000 – AN 9 00.01759 u.a.; VG Freiburg, Beschluss v. 28.08.2003 – Az. 1 K 820/03; VG Osnabrück, Urt. v. 30. 01. 2004 – 2 A 92/02; OVG Magdeburg, Beschluss v. 09.02.2006; OVG Magdeburg, Urt. 22.06.2006 – 2 L 23/04; VG Saarlouis, Urt. v. 30.07.2008 – 5 K 6/08; OVG NRW, Urt. v. 28.08.2008 – Az. 8 A 2138/06; VGH München, Beschluss v. 31.10.2008 – 22 CS 08.2369; OVG Rheinland-Pfalz, Urt. v. 29.10.2008 – 1 A 11330/07.OVG; OVG Koblenz, Urt. 12.05.2011 – 1 A 11186/08; VG Minden, Beschluss v. 13.12.2012 – 11 L 529/12.

<sup>8</sup> VG Freiburg, Urt. v. 25.10.2005 – 1 K 653/04.

<sup>9</sup> BVerfGE 49, 89 (143).

<sup>10</sup> OVG Koblenz, Urt. v. 12.05.2011 – 1 A11186/08 = NVwZ-RR 2011, 759 (762).

<sup>11</sup> VG Osnabrück, Urt. v. 30. 01. 2004 – 2 A 92/02; VG Freiburg: Urt. v. 25.10.2005 – 1 K 653/04; OVG Magdeburg, Beschluss v. 09.02.2006; dem folgend vgl. OVG Rheinland-Pfalz, Urt. v. 29.10.2008 – 1 A 11330/07.OVG; sich anschließend vgl. OVG Lüneburg, Urt. v. 01.06.2010 – 12 LB 31/07.

Festzuhalten ist, dass Abschaltssysteme durch Eiserkennung und Eissensoren in aller Regel ausreichenden Gefahrenschutz bieten und entsprechend den gebotenen staatlichen Schutzpflichten Rechnung tragen. Zu bewerten bleibt demnach hier lediglich das Risiko des Eisabfalls bei stehenden bzw. im Trudelbetrieb befindlichen Rotoren der Anlagen. Um hierbei möglichst konservativ potenzielle Gefahren zu bewerten, werden Gefährdungsbereiche, Frequentierung, Schadensausmaß usw. über dem eigentlich erforderlichen Maß deutlich ausgeweitet. Dies betrifft auch die Anzahl der Eisstücke: Nach Langzeituntersuchungen des EU- Forschungsprojektes „Windenergy Production in Cold Climates“ (WECU-Projektes) ist i.d.R. mit weniger gebildeten Eiskörpern zu rechnen (ca. 200 Stück in drei Jahren), als im vorliegenden Gutachten zu Grunde gelegt werden.

### 3 Gefährdungsbereiche

Um das Risiko des Eisfalles zu minimieren und die Mechanik der WEA nicht zu beschädigen, wird vorausgesetzt, dass sich die geplanten WEA vom Typ Nordex N163 bei Eisansatz automatisch abschalten und in den Trudelbetrieb übergehen. Das hier betrachtete Risiko von Eisfall besteht demzufolge nur bei stehendem bzw. im Trudelbetrieb befindlichem Rotor.

Die Eisfallweite ist abhängig von den folgenden Parametern:

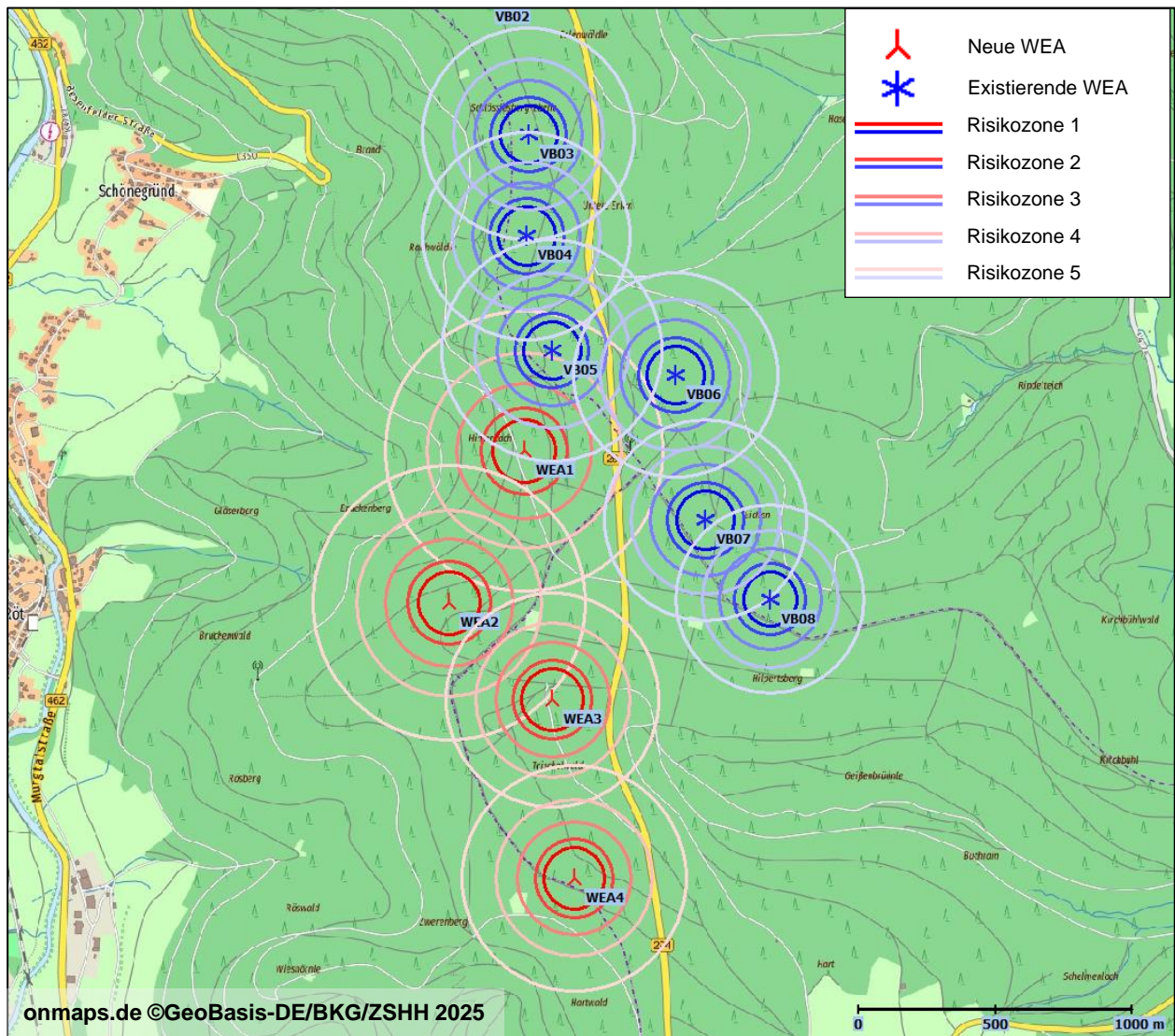
- WEA-Gesamthöhe;
- Stand des Rotors;
- Gewicht des Eises;
- Größe und Form des Eises;
- Windgeschwindigkeit;
- Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors.

Größe, Form und Gewicht von potenziell herabfallenden Eisstücken sind generell schwer zu prognostizieren. Aus diesem Grund wird bei der Abschätzung des Risikos durch Eisfall ein Eisstück definiert, das potenziell eine letale Wirkung hat und gleichzeitig eine maximale Flugweite abdeckt. Entsprechend wird für die Betrachtung der maximalen Fallweite von Eisstücken ein Eisstück von 0,06 kg und einer Oberfläche von maximal 0,0025 m<sup>2</sup> betrachtet. Die maximale Fallweite für ein Eisstück dieser Beschaffenheit wird für jede Windgeschwindigkeitsklasse (0 bis 27 m/s) berechnet. Daraus werden in Abhängigkeit der Gesamthöhe der WEA und unter Berücksichtigung der maximalen Höhendifferenzen zwischen Turmfuß und der Umgebung für jede WEA fünf verschiedene Risikozonen (RZ) abgeleitet (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3: Risikozonen und Eisfallweite**

Windgeschwindigkeiten [m/s]	0-5 (RZ 1)	6-10 (RZ 2)	11-15 (RZ 3)	16-20 (RZ 4)	21-27 (RZ 5)
Maximale Fallweite WEA 1 [m]	115	157	246	357	510
Maximale Fallweite WEA 2 [m]	114	152	232	339	500
Maximale Fallweite WEA 3 [m]	113	144	209	281	389
Maximale Fallweite WEA 4 [m]	112	141	205	284	409
Maximale Fallweite VB 04 [m]	105	134	195	266	375
Maximale Fallweite VB 05 [m]	104	133	200	279	399
Maximale Fallweite VB 06 [m]	105	136	201	270	369
Maximale Fallweite VB 07 [m]	105	137	201	267	364

Die folgende Abbildung 3 zeigt die maximale Abfallweite für jede der fünf Risikozonen am Standort Trischelwald.



**Abbildung 3: Risikozonen.**

Für die Risikobewertung des Eisfalls am Standort Trischelwald wurden die in der Umgebung des Standorts liegenden Gefährdungsbereiche auf Basis einer detaillierten ATKIS-Karte und einer Standortbesichtigung am 21.02.2024 ermittelt und untersucht.

Maßgebliche Gefährdungsbereiche sind alle Aufenthaltsbereiche von Menschen im Freien, insbesondere Straßen und Wege sowie ggf. Arbeitsstätten o.ä., die in dem Bereich um die WEA liegen, der von Eisfall betroffen sein kann. Die sich ergebenden relevanten Gefährdungsbereiche

(GB) innerhalb der fünf Risikozonen sind in den Abbildungen 5 bis 6 durch farbige Linien hervorgehoben.

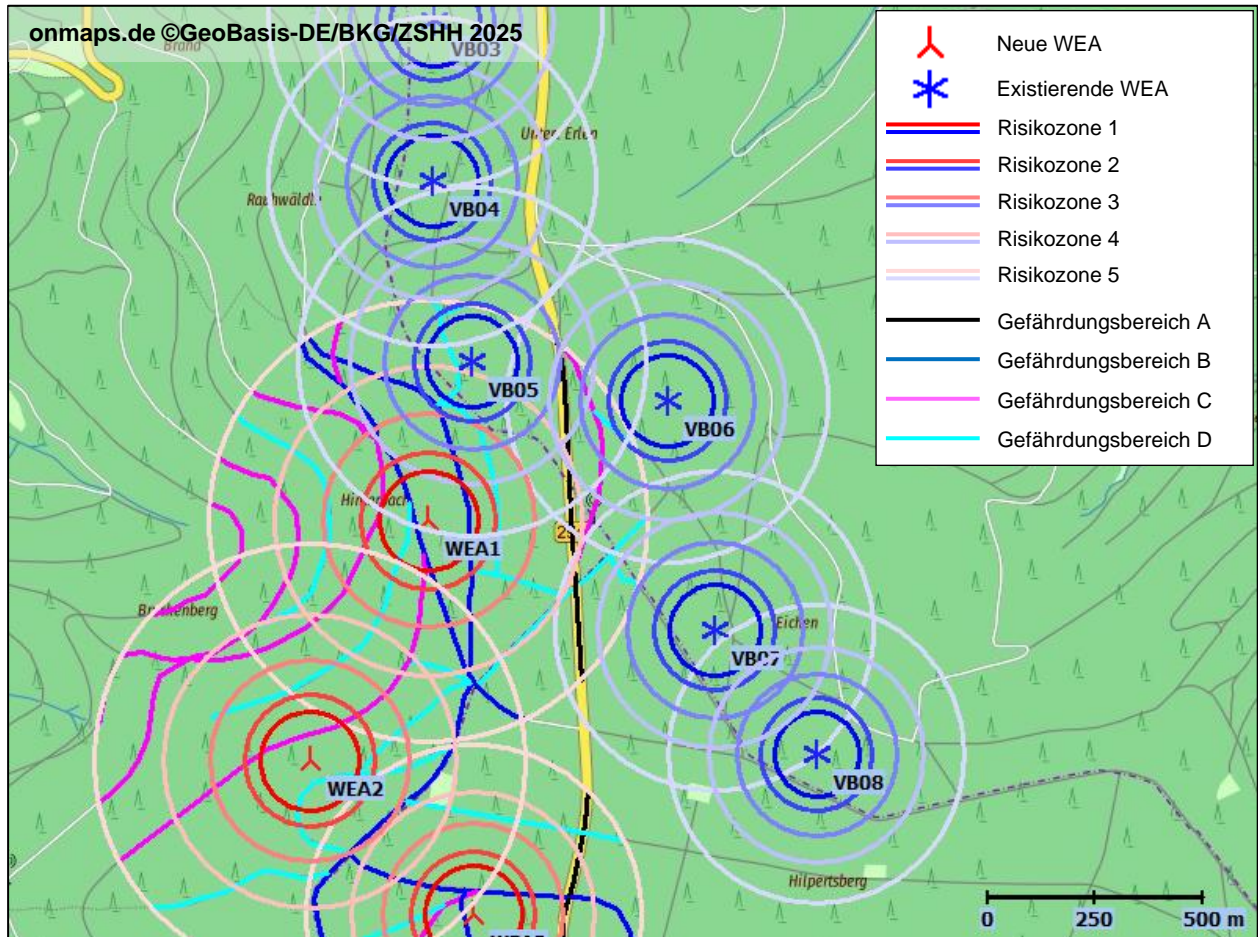
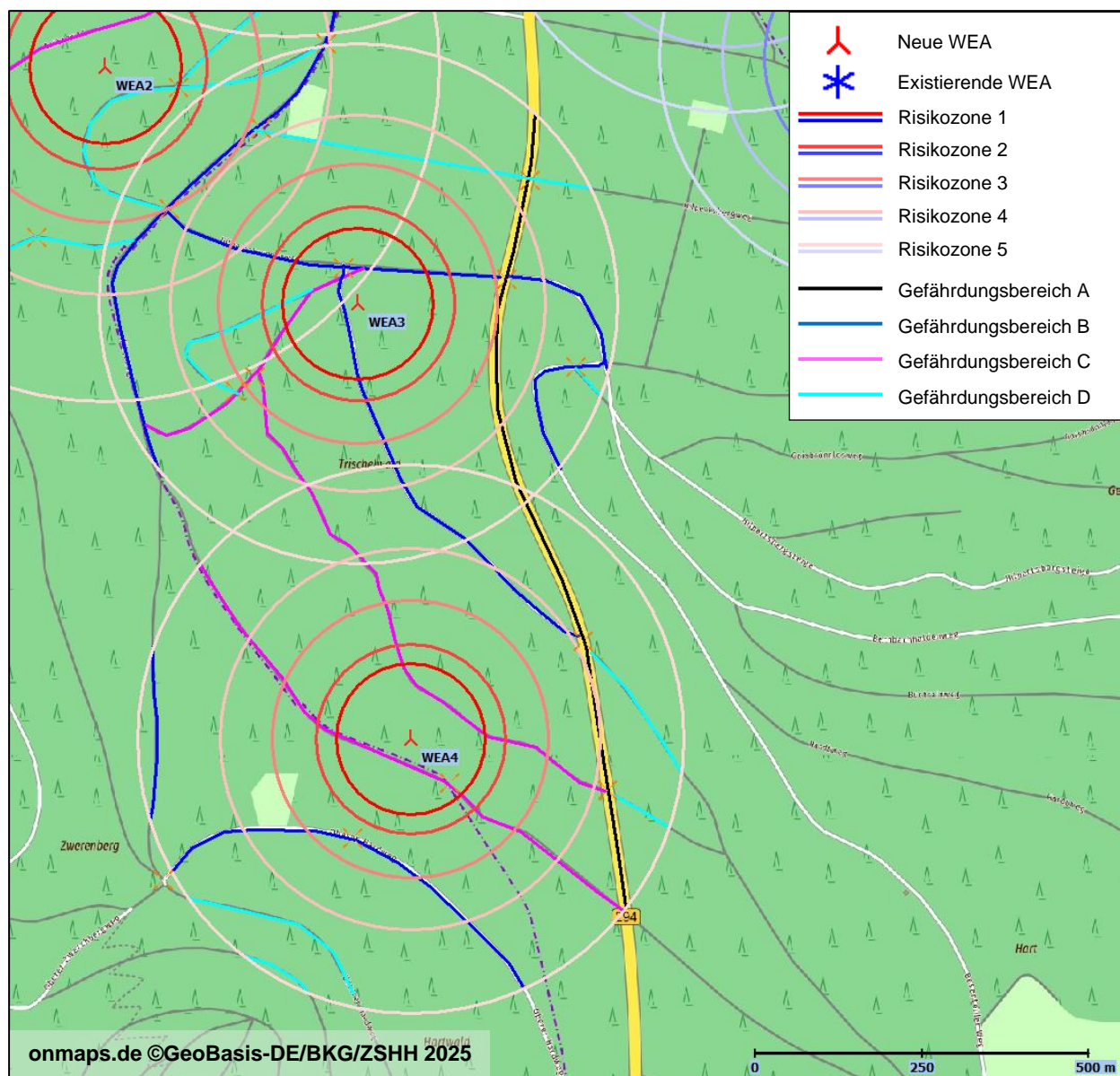


Abbildung 4: WEA 1 mit GB A, GB B, GB C und GB D



**Abbildung 5: WEA 2, 3 und 4 mit GB A-D**

Bei Gefährdungsbereich A handelt es sich um die Bundesstraße 294 zwischen Seewald und Freudenstadt. Sie wird von Radfahrern (Gefährdungsgruppe P) und Kfz (Gefährdungsgruppe K) genutzt. Für die Gefährdungsgruppe P wird konservativ geschätzt ein durchschnittlicher Wert von 25 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag sowie für die Gefährdungsgruppe K ein durchschnittliches Verkehrsaufkommen von 4178 gezählten Kfz pro Tag. Für die Personen/Radfahrer wird eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 10km/h und für die Kfz eine von 80 km/h herangezogen.

Bei Gefährdungsbereich B handelt es sich um einen ausgewiesenen Wanderweg vom Schwarzwaldverein: „Hinterbuch – Trischelwald“ und „Hilpertsberg – Trischelwald“. Diese werden von Fußgängern/ Radfahrern (Gefährdungsgruppe P) und Kfz (Gefährdungsgruppe K) genutzt. Für die Gefährdungsgruppe P wird konservativ geschätzt ein durchschnittlicher Wert von 50 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag sowie für die Gefährdungsgruppe K ein Wert von 10 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag angenommen. Für die Personen wird eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 3 km/h und für die Kfz eine von 20 km/h herangezogen.

Bei Gefährdungsbereich C handelt es sich um verschiedene befestigte Wirtschaftswege. Diese werden von Fußgängern (Gefährdungsgruppe P) und Kfz (Gefährdungsgruppe K) genutzt. Für die Gefährdungsgruppe P wird konservativ geschätzt ein durchschnittlicher Wert von 25 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag sowie für die Gefährdungsgruppe K ein Wert von 10 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag angenommen. Für die Fußgänger wird eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 3 km/h und für die Kfz eine von 20 km/h herangezogen.

Bei Gefährdungsbereich D handelt es sich um unbefestigte Wirtschaftswege. Diese werden von Fußgängern (Gefährdungsgruppe P) und Kfz (Gefährdungsgruppe K) genutzt. Für die Gefährdungsgruppe P wird konservativ geschätzt ein durchschnittlicher Wert von 10 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag sowie für die Gefährdungsgruppe K ein Wert von 2 zurückgelegten Wegstrecken pro Tag angenommen. Für die Fußgänger wird eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 3 km/h und für die Kfz eine von 10 km/h herangezogen.

**Tabelle 4: Zusammenfassung Gefährdungsbereiche**

Gefährdungs-		Bezeichnung	Frequentierung pro Tag [Anzahl Wegstrecken]	Geschwindigkeit
Bereich	Gruppe			
A	P	Bundesstraße 294	25	10 km/h
	K		4178	80 km/h
B	P	Ausgewiesener Wanderweg	50	3 km/h
	K		10	20 km/h
C	P	verschiedene befestigte Wirtschaftswege	25	3 km/h
	K		10	20 km/h
D	P	unbefestigte Wirtschaftswege	10	3 km/h
	K		2	10 km/h

Die für die jeweiligen Gefährdungsbereiche in den verschiedenen Risikozonen relevanten Windrichtungen sind unterteilt in zwölf Bereiche in den nachfolgenden Tabellen 5 bis 9 dargestellt. Für

Risikozone 1 werden konservativ angenommen alle Windrichtungen berücksichtigt, da der Rotor während des Trudelbetriebs nicht unbedingt entsprechend der Windrichtung orientiert ist und somit bedingt durch die Größe der Rotorblätter je nach Rotorstellung Eisfall in allen Bereichen innerhalb der Risikozone unabhängig von der Windrichtung vorkommen kann.

**Tabelle 5: Relevante Windrichtungen WEA 1**

GB	RZ 1	RZ 2	RZ 3	RZ 4	RZ 5
A	-	-	-	WSW, W, WNW	SSW, WSW, WNW, NNW
B	Alle	N, SSO, SSW, WNW, NNW	N, SSO, S, SSW, NNW	N, SSO, S, NNW	N, SSO, NNW
C	Alle	N, ONO, O, OSO, SSO	N, ONO, SSO	N, ONO, O, SSO	N, NNO, ONO, O, OSO, SSO, SSW, WSW, W
D	Alle	NNO, NNW	NNO, O, OSO, SSW, WSW, W, WNW, NNW	N, NNO, ONO, OSO, S, SSW, WNW, NNW	N, NNO, ONO, OSO, S, WSW, W, WNW, NNW

**Tabelle 6: Relevante Windrichtungen WEA 2**

GB	RZ 1	RZ 2	RZ 3	RZ 4	RZ 5
A	-	-	-	-	-
B	-	-	WNW, NNW	N, W, WNW, NNW	N, SSW, WSW, W, WNW, NNW
C	Alle	O, SSW, WSW	ONO, O, WSW	ONO, OSO, SSO, S, SSW, WSW	ONO, O, OSO, SSO, S, SSW, WNW, NNW
D	Alle	N, W, WNW	N, OSO, SSO, S, WSW, W, NNW	N, NNO, OSO, SSO, S, SSW, WSW, W, WNW	NNO, ONO, S, SSW, WSW, WNW, NNW

**Tabelle 7: Relevante Windrichtungen WEA 3**

GB	RZ 1	RZ 2	RZ 3	RZ 4	RZ 5
A	-	-	W, WNW	WSW, W, WNW	SSW, WSW, WNW, NNW
B	Alle	N, OSO, WSW	N, OSO, WSW, W	N, OSO, W	N, ONO, O, OSO, SSO, S, W, WNW, NNW
C	Alle	ONO	NNO, ONO	NNO, ONO	N, NNO, ONO
D	Alle	O	O	ONO, O, SSO, S, SSW, WSW	O, OSO, SSO, S, WSW, WNW

**Tabelle 8: Relevante Windrichtungen WEA 4**

GB	RZ 1	RZ 2	RZ 3	RZ 4	RZ 5
A	-	-	-	WSW, W	SSW, WSW, W, WNW
B	-	-	N, NNO, ONO	N, NNO, ONO, SSW, WSW, NNW	ONO, O, OSO, S, SSW, WSW, NNW
C	Alle	O, S, W, NNW	O, OSO, S, W, WNW, NNW	OSO, SSO, S, W, WNW	OSO, SSO, W, WNW
D	-	-	-	-	N, NNO, ONO, WSW, W, WNW

**Tabelle 9: Relevante Windrichtungen der Vorbelastungen der zum Gesamtrisiko beitragenden WEA für WEA 1**

WEA	GB A	GB B	GB C	GB D
VB 04				N
VB 05	W, WNW, NNW	N, NNO, ONO, O	NNO, ONO, O, OSO, W, WNW	Alle
VB 06	NNO, ONO, O, OSO		NNO, ONO, O, OSO	NNO, ONO, O
VB 07	ONO, O, OSO	OSO	OSO, SSO	O, OSO, SSO

Die Gefährdungsbereiche werden entsprechend Ihrer Lage einer Risikozone zugeordnet, für die in Kapitel 4 eine Risikobewertung auf Basis der in den Tabellen 11 bis 15 gelisteten Daten erfolgt.

## 4 Risikoanalyse

Innerhalb der Risikoanalyse wird zunächst das Risiko identifiziert bzw. werden die Wahrscheinlichkeiten aufgezeigt, die potenziell die Gefahrensituation auslösen. Die Schwere der potenziellen Gefährdungsannahme ergibt sich aus dem Ausmaß des Schadens (hier angenommen der Tod).

Um den ermittelten Risikowert in die Vorhabenentscheidung einfließen zu lassen, bedarf es der Bewertung des Risikos. Dabei wird festgestellt, ob das ermittelte Risiko als akzeptabel oder als inakzeptable mithin abzulehnende Gefahr einzustufen ist, woraufhin Abwehrmaßnahmen durchzuführen wären.

Für kleinere Straßen sowie Wald-, Wander- und Wirtschaftswege wird das individuelle Risiko berechnet, in stark frequentierten Bereichen wie beispielsweise Bundes- und Landstraßen sowie Autobahnen wird für Gefährdungsgruppe K das kollektive Risiko berechnet. Das kollektive Risiko wird dabei als die Summe aller Risiken für betroffene Personen verstanden.

Das Risiko berechnet sich aus Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit Ausmaß des Schadens. Das Risiko bildet somit die Kennzahl zur quantitativen Beschreibung der Gefahr und entspricht im Grundsatz der vom Bundesverfassungsgericht entwickelten „je desto“-Formel bei der Ermittlung des Risikowertes.<sup>12</sup>

### 4.1 Grundlagen der Risikoermittlung

Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird für eine Rasterzelle von 5x5 m<sup>2</sup> aus der Multiplikation der Eisfallhäufigkeit, der Treff- und Aufenthaltswahrscheinlichkeit berechnet. Es wird dabei konservativ angenommen, dass jeder Treffer außerhalb von Gebäuden auch zu einem Todesfall führt.

Dabei entspricht die Eisfallhäufigkeit der in Kapitel 2.3 ermittelten Anzahl an Eistagen (Szenario 2), multipliziert mit der zu erwarteten Anzahl an Eisstücken<sup>13</sup> pro Rasterzelle und gewichtet mit der für den Gefährdungsbereich relevanten Windverteilung am Standort. Im Sinne einer konservativen Vorgehensweise wird für jeden Gefährdungsbereich innerhalb einer Risikozone die Summe aller relevanten Windrichtungen bei der Wahrscheinlichkeitsberechnung berücksichtigt.

---

<sup>12</sup> BVerfGE 49, 89 (142).

<sup>13</sup> Es wird angenommen, dass sich an jedem Rotorblatt pro laufenden Meter drei Eisstücke pro Vereisungstag bilden.

Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit basiert auf der Multiplikation einer Trefferfläche, bezogen auf die Rasterfläche mit der Aufenthaltsdauer in der Rasterfläche. Als Trefferfläche wird hier der Kopf einer Person bzw. die Frontscheibe eines Fahrzeugs angenommen. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Personen bzw. Kfz wird unter Berücksichtigung einer angenommenen Fortbewegungsgeschwindigkeit bzw. Aufenthaltsdauer, der Anzahl an Personen/Fahrzeugen pro Tag sowie der Anzahl an Eistagen pro Jahr berechnet. Im Sinne einer konservativen Vorgehensweise wird für einen Gefährdungsbereich innerhalb jeder Risikozone die maximale Anzahl an zurückgelegten Wegstrecken von Personen bzw. Kfz berücksichtigt.

Die Trefferwahrscheinlichkeit basiert auf der berechneten Aufenthaltswahrscheinlichkeit in jeder Risikozone, gewichtet mit der Häufigkeit des Auftretens der relevanten Windgeschwindigkeiten.

Das bestehende Risiko auf Bundes- und Landstraßen sowie Autobahnen basiert auf Unfallstatistiken und der Frequentierung der entsprechenden Straße. Für die Bundesstraße 294 (Gefährdungsbereich A) weist der Unfallatlas der statistischen Ämter des Bundes und der Länder [8] maximal einen Unfall mit Personenschaden pro Jahr aus. Dieser Wert wird herangezogen, um die Unfallwahrscheinlichkeit für Gefährdungsbereich A zu bestimmen.

## 4.2 Grundlagen Bewertung des Risikos

Um ein Risiko entsprechend den gegebenen Situationen zu bewerten, muss das Risiko quantifiziert werden. Für die Quantifizierung des individuellen Risikos wird auf das Prinzip der minimalen endogenen Mortalität (MEM) zurückgegriffen [9]. Die MEM beschreibt das Maß des akzeptablen Risikos, welches von der entsprechenden Technologie<sup>14</sup> ausgeht. Die Sterblichkeitsrate beträgt  $2 \cdot 10^{-4}$  Todesfälle pro Jahr<sup>15</sup>.

Gefahren, die von neuen Anlagen zu erwarten sind, dürfen zu keiner nennenswerten Erhöhung der minimalen endogenen Mortalität führen. Als Grenzwert wurde die Erhöhung der Sterblichkeitsrate auf kleiner als  $10^{-5}$  Todesfälle pro Jahr festgelegt [9]. Wird der Grenzwert aufgrund des geplanten Vorhabens überschritten, ist von einer inakzeptablen Gefahr auszugehen, die abzulehnen wäre. Unterhalb dieser Schwelle bestehen weiterhin Restrisiken, welche gemessen am „Maßstab der praktischen Vernunft“ als allgemeine Lebensrisiken hinzunehmen sind.

---

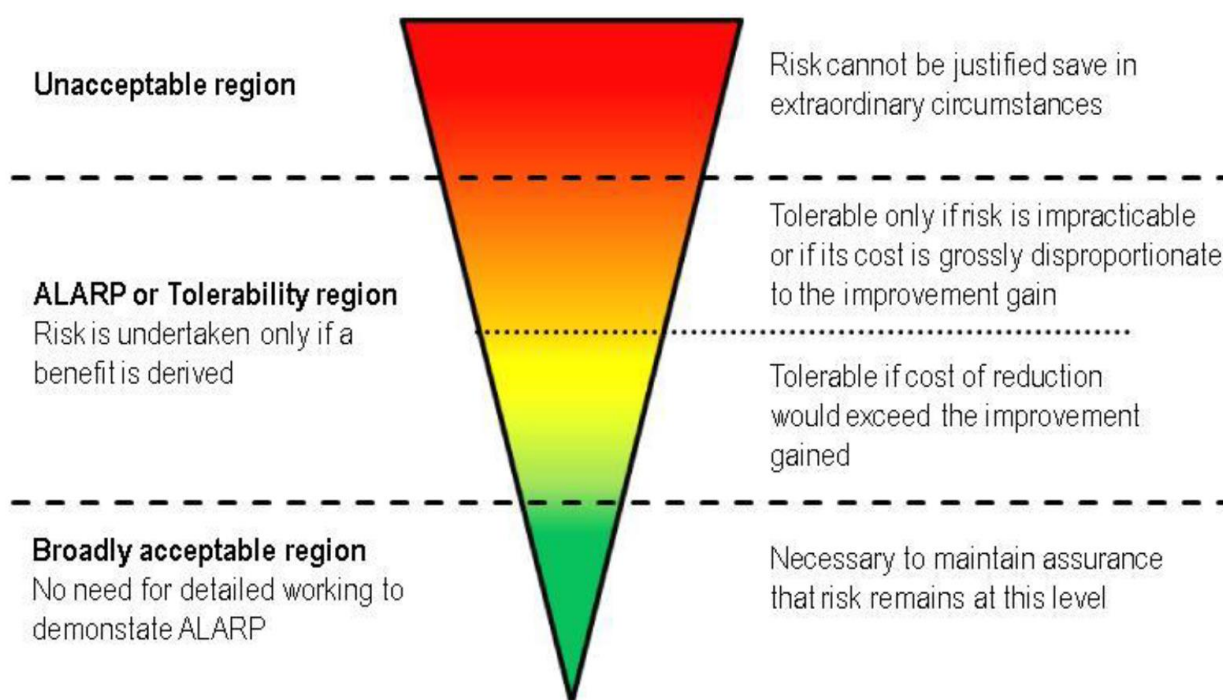
<sup>14</sup> Dies betrifft alle Lebensbereiche wie Arbeit, Verkehr und Freizeit.

<sup>15</sup> Zu Grunde gelegt wurde die Gruppe der 5- bis 15-jährigen, da in dieser Gruppe die Sterblichkeit in wirtschaftlich gut entwickelten Ländern am niedrigsten ist, vgl. DIN EN 50126.

Die Methodik der Grenzwertfestlegung nach Eintrittswahrscheinlichkeiten für eine genau definierte Konsequenz orientiert sich am allgemeinen Lebensrisiko und erweist sich als hinreichend genau und objektiv, um die von Verfassung wegen geforderte Risikoabschätzung durchzuführen.

Für die Quantifizierung des kollektiven Risikos liegt der Grenzwert bei  $1 \cdot 10^{-3}$  Todesfällen pro Jahr [10].

Nach dem ALARP-Prinzip („as low as reasonably practicable“) werden im Allgemeinen drei Bereiche der Risikobewertung definiert: Akzeptabel, tolerierbar und inakzeptabel.



**Abbildung 6: ALARP-Prinzip [10]**

Daraus ergeben sich die in Tabelle 10 dargestellten Bewertungen.

**Tabelle 10: Anwendung des ALARP-Prinzips [10]**

Kollektives Risiko	Individuelles Risiko	ALARP-Auswertung
$> 10^{-3}$	$> 10^{-5}$	Inakzeptables Risiko. Weitere Maßnahmen sind zu treffen.
$10^{-3}$ bis $10^{-4}$	$10^{-5}$ bis $10^{-6}$	Tolerables Risiko. Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen.
$10^{-4}$ bis $10^{-5}$	$10^{-6}$ bis $10^{-7}$	Tolerables Risiko. Maßnahmen sind in der Regel nicht erforderlich.
$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	Akzeptables Risiko. Es sind keine Maßnahmen erforderlich.

### 4.3 Risikoanalyse am Standort Trischelwald

Am Standort Trischelwald wurde eine Berechnung des Tötungsrisikos durch Eisfall von vier geplanten Windenergieanlagen des Typs Nordex N163 bezogen auf den Zeitraum eines Jahres durchgeführt. Grundlage der Risikobewertung ist für Gefährdungsgruppe K in Gefährdungsbereich A das kollektive Risiko und für alle übrigen Gefährdungsgruppen in den verschiedenen Gefährdungsbereichen das individuelle Risiko.

Die Wahrscheinlichkeit von Eisstücken tödlich getroffen zu werden, wird unter Berücksichtigung der Häufigkeiten von Vereisungsereignissen, der Auftreffhäufigkeit der Eisstücke sowie der Aufenthaltsdauer von Personen und Kfz in den Gefährdungsbereichen sowie „worst-case“-Annahmen hinsichtlich der Frequentierung, des Schadensausmaßes, der Anzahl an Eisstücken, etc. berechnet.

Vorausgesetzt wird, dass die WEA mit einer automatischen Eisabschaltung auf Basis mindestens einer Eiserkennungsmethode ausgestattet ist. So wird sichergestellt, dass sich die WEA bei Eisansatz nicht in Betrieb befindet und somit eine Gefährdung nur durch herabfallende Eisstücke während des Trudelbetriebs<sup>16</sup> bzw. Stillstands besteht.

Sofern sich ein Gefährdungsbereich innerhalb einer Risikozone zweier oder mehrerer WEA befindet, wird bei der Risikoberechnung der Einzel-WEA für die Gefährdungsgruppen in den entsprechenden Gefährdungsbereichen und Risikozonen das Gesamtrisiko ausgewiesen.

<sup>16</sup> Der Trudelbetrieb mit bis zu drei Umdrehungen/Minute wurde bei den Berechnungen berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Risikobetrachtung für die Gefährdungsbereiche der einzelnen geplanten WEA unter Berücksichtigung der Gesamtgefährdung durch alle WEA am Standort werden in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

**Tabelle 11: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA 1**

Gefährdungs-		Grundlage Risiko- bewertung	Trefferhäufigkeit				
Bereich	Gruppe		RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	RZ5
A	P	individuell	-	-	-	$6,0 \cdot 10^{-11}$	$6,4 \cdot 10^{-11}$
	K	kollektiv	-	-	-	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$8,0 \cdot 10^{-07}$
B	P	individuell	$7,9 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$5,0 \cdot 10^{-09}$	$3,6 \cdot 10^{-09}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$
	K	Individuell	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$7,5 \cdot 10^{-09}$	$3,3 \cdot 10^{-09}$	$2,4 \cdot 10^{-09}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
C	P	individuell	$4,0 \cdot 10^{-08}$	$8,2 \cdot 10^{-09}$	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-09}$	$1,3 \cdot 10^{-08}$
	K	Individuell	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-09}$	$1,7 \cdot 10^{-08}$
D	P	individuell	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-09}$	$2,7 \cdot 10^{-09}$	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$2,3 \cdot 10^{-08}$
	K	Individuell	$2,1 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-09}$	$3,6 \cdot 10^{-09}$	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$3,0 \cdot 10^{-08}$

**Tabelle 12: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA 2**

Gefährdungs-		Grundlage Risiko- bewertung	Trefferhäufigkeit				
Bereich	Gruppe		RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	RZ5
A	P	individuell	-	-	-	-	-
	K	kollektiv	-	-	-	-	-
B	P	individuell	-	-	$2,3 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-09}$	$9,1 \cdot 10^{-08}$
	K	Individuell	-	-	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$1,0 \cdot 10^{-09}$	$6,1 \cdot 10^{-08}$
C	P	individuell	$4,2 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-09}$	$9,9 \cdot 10^{-10}$	$4,6 \cdot 10^{-08}$
	K	Individuell	$5,6 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$6,5 \cdot 10^{-09}$	$1,3 \cdot 10^{-09}$	$6,1 \cdot 10^{-08}$
D	P	Individuell	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-09}$	$2,2 \cdot 10^{-09}$	$4,9 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-08}$
	K	Individuell	$2,2 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-09}$	$2,9 \cdot 10^{-09}$	$6,5 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-08}$

**Tabelle 13: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA 3**

Gefährdungs-		Grundlage Risiko- bewertung	Trefferhäufigkeit				
Bereich	Gruppe		RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	RZ5
A	P	Individuell	-	-	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$6,7 \cdot 10^{-11}$	$7,1 \cdot 10^{-12}$

	K	Kollektiv	-	-	$9,9 \cdot 10^{-07}$	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$6,7 \cdot 10^{-07}$
B	P	Individuell	$9,1 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-09}$	$3,1 \cdot 10^{-09}$
	K	Individuell	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-08}$	$7,9 \cdot 10^{-09}$	$7,4 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-09}$
C	P	Individuell	$4,6 \cdot 10^{-08}$	$4,2 \cdot 10^{-09}$	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$7,1 \cdot 10^{-11}$
	K	Individuell	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$5,6 \cdot 10^{-09}$	$2,6 \cdot 10^{-09}$	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$9,5 \cdot 10^{-11}$
D	P	Individuell	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-09}$	$4,9 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$9,8 \cdot 10^{-10}$
	K	Individuell	$2,4 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-09}$	$6,6 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-09}$

Tabelle 14: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA 4

Gefährdungs-		Grundlage Risiko- bewertung					
Bereich	Gruppe		RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	RZ5
A	P	individuell	-	-	-	$5,6 \cdot 10^{-11}$	$8,0 \cdot 10^{-12}$
	K	kollektiv	-	-	-	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$6,7 \cdot 10^{-07}$
B	P	individuell	-	-	$4,9 \cdot 10^{-09}$	$2,5 \cdot 10^{-09}$	$5,0 \cdot 10^{-10}$
	K	Individuell	-	-	$3,3 \cdot 10^{-09}$	$1,7 \cdot 10^{-09}$	$3,3 \cdot 10^{-10}$
C	P	individuell	$4,6 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$4,8 \cdot 10^{-09}$	$5,6 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$
	K	Individuell	$6,2 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$6,4 \cdot 10^{-09}$	$7,5 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$
D	P	individuell	-	-	-	-	$6,3 \cdot 10^{-11}$
	K	Individuell	-	-	-	-	$8,4 \cdot 10^{-11}$

Die Richtwerte werden für alle Gefährdungsbereiche um mindestens den Faktor 109 unterschritten. **Somit sind potenzielle Gefahren für den Menschen durch Eisfall ausgehend von den geplanten WEA am Standort Trischelwald als akzeptables Restrisiko einzustufen.**

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] geoGLIS GmbH & Co. KG, onmaps.de ©GEOBasis-DE/BKG/ZSHH, 2024.
- [2] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Reihe B, Heft 8, 2012.
- [3] Liste der Technischen Baubestimmungen (LTB) des Landes Baden-Württemberg, 14.11.2014.
- [4] „European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF),“ [Online]. Available: <http://www.ecmwf.int/>.
- [5] Deutscher Wetterdienst (DWD), „Erläuterungen der dargestellten Größen,“ [Online]. Available: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100652&lv3=100720>. [Zugriff am 13.05.2020].
- [6] Deutscher Wetterdienst (DWD), „Deutscher Klimaatlas,“ [Online]. Available: [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html). [Zugriff am 29.02.2024].
- [7] Jarass, Hans D., BImSchG-Kommentar, 10. Auflage, 2013.
- [8] „Unfallatlas,“ Statistische Ämter des Bundes und der Länder, [Online]. Available: <https://unfallatlas.statistikportal.de/>. [Zugriff am 10.06.2022].
- [9] R. Breuer, Anlagensicherheit und Störfälle Vergleichende Risikobewertung im Atom- und Immissionsschutzrecht, Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 1990, p. 211.
- [10] IEA Wind TCP Task 19, *International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments*, Oktober 2018.

## 6 Anhang

- Deutscher Klimaatlas

Allgemein



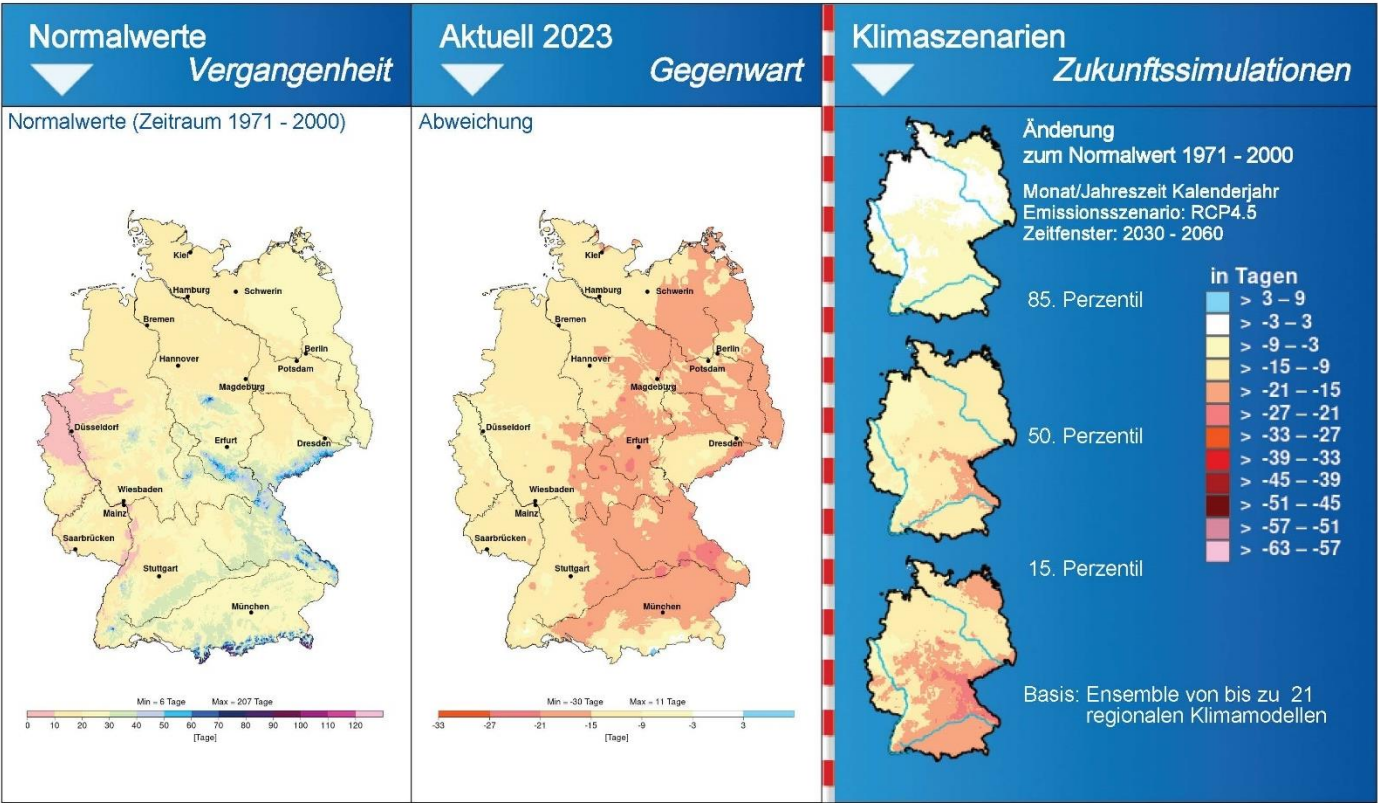
# Deutscher Klimaatlas

Deutschland

Eistage

Kalenderjahr 2023

Emissionsszenario: RCP4.5    Zeitfenster: 2030 - 2060



Im Klimaatlas Deutschland zeigt der Deutsche Wetterdienst unser Klima von gestern, heute und morgen auf einen Blick. Dabei wird besonders anschaulich, wie sich die Mittelwerte der dargestellten Größen in Deutschland und in den Bundesländern bis heute verändert haben und zukünftig verändern werden.

Zukünftige Klimazustände untersucht der DWD mit möglichst vielen regionalen Klimamodellen. Solche Ensemblerechnungen führen zu einer großen Anzahl von möglichen Klimazuständen, die statistisch als Perzentile ausgewertet werden: Das 50. Perzentil gibt den Wert an, für den jeweils die Hälfte der Modellsimulationen höhere bzw. niedrigere Änderungen zeigen. 15 % aller Modellergebnisse liegen unterhalb des 15. Perzentils oder erreichen dieses gerade genau. Die übrigen 85 % der Modellsimulationen zeigen dagegen größere Änderungen. Entsprechend liegen 85 % unterhalb des 85. Perzentils oder erreichen dieses gerade genau. Zwischen das 15. und 85. Perzentil fallen somit insgesamt 70 % aller Modellergebnisse.

Die Modellergebnisse werden dabei mathematisch aufsteigend sortiert. So ist z. B. der Wert -70 immer kleiner als der Wert -20. Die kleineren Werte werden immer dem kleineren Perzentil zugeordnet, die größeren Werte immer dem größeren Perzentil.


Perzentile sind nicht identisch mit Eintrittswahrscheinlichkeiten.

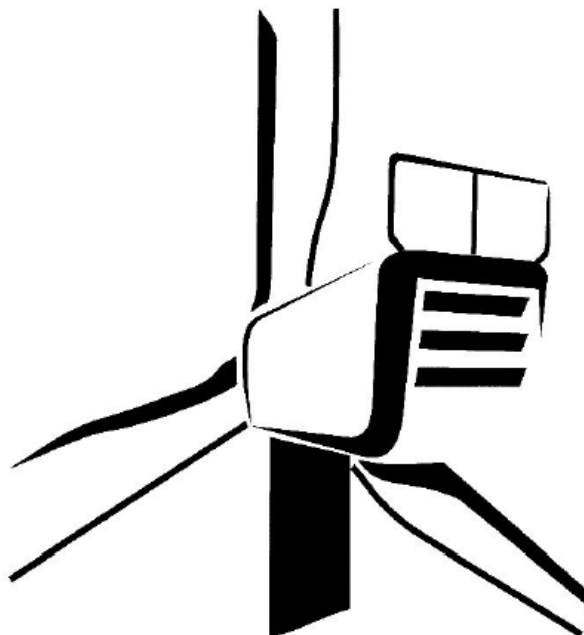
Weitere Informationen finden Sie in den Erläuterungen unter:

[www.dwd.de/klimaatlas](http://www.dwd.de/klimaatlas)

Erzeugt am 29.02.2024

um 17:43 Uhr


	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 1 / 8




- Übersetzung des Originaldokuments (9016288, Rev. 00) –

Dies ist eine Übersetzung aus dem Englischen.  
Im Zweifelsfall ist der englische Text maßgebend.

Sprache: DE – Deutsch  
Abteilung: Engineering/CPS/Processes & Documents

Bearbeiter   12-01-2024	Prüfer   11-03-2024	Freigeber   11-03-2024
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 2 / 8

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung seines Inhalts, vollständig oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy SE & Co. KG. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Nordex-Mitarbeiter und Mitarbeiter von vertrauenswürdigen Partner- und Subunternehmen der Nordex Energy SE & Co. KG und Nordex SE und deren verbundenen Unternehmen im Sinne der §§ 15ff. des Aktiengesetzes (AktG) bestimmt und dürfen keinesfalls (auch nicht in Auszügen) an Dritte weitergegeben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

© 2024 Nordex Energy SE & Co. KG, Hamburg, Deutschland

Dieses Dokument enthält Informationen, deren Eigentumsrechte bei der Nordex Group liegen und die ohne die vorherige schriftliche Genehmigung durch autorisiertes Personal der Nordex Group nicht kopiert, verwendet, veröffentlicht oder in irgendeiner Form an Dritte weitergegeben werden dürfen. Alle hierin enthaltenen Informationen sind vertraulich zu behandeln und ausschließlich zum Nutzen der Nordex Group zu verwenden.

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie

Nordex Energy SE & Co. KG.

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg



Deutschland

Tel.: +49 (0)40 300 30 -1000

Fax: +49 (0)40 300 30 -1101



info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 3 / 8


## Gültigkeit

Anlagentyp/Produktserie	Produkt
K08 Delta	N117/3000 kontrolliert N117/3600 N131/3000 kontrolliert N131/3600 N131/3900
Delta4000	N133/4.X N149/4.X N149/5.X N163/5.X N163/5.X ESH N163/6.X N175/6.X

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 4 / 8

## Inhaltsverzeichnis



<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Systembeschreibung</b>	<b>6</b>
2.1	Erkennungsfunktionen	6
2.2	Auswirkungen des erfassten Eisansatzes	7

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 5 / 8

## 1 Einleitung

Die Windenergieanlagen von Nordex können verschiedene Funktionen nutzen, die einzeln oder in Kombination eine mögliche Eisbildung indirekt erfassen können.

Die integrierten Funktionen zur Eiserkennung können über das Betriebsführungssystem aktiviert werden und sind standardmäßig ausgeschaltet.

 	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 6 / 8

## 2 Systembeschreibung

### 2.1 Erkennungsfunktionen

Es gibt drei unabhängige Erkennungsfunktionen für die Erfassung von Eis mit Hilfe der integrierten Sensortechnologie. Alle drei Erkennungsfunktionen arbeiten parallel und können bei Überschreitung festgelegter Schwellenwerte einzeln oder in Kombination einen Eisansatz-Alarm auslösen. Daraufhin wird die Windenergieanlage mit einem Eisansatz-Alarm gestoppt.

Die Eiserkennungsfunktionen der integrierten Sensoren erfassen die Eisbildung nicht direkt, sondern leiten sie von anderen Betriebsparametern und Messungen ab. Daher muss bei der Verwendung dieser Funktionen zur Eiserkennung eine erhöhte Unsicherheit berücksichtigt werden.

#### Erkennung von Unwuchten und Vibrationen

Das Eis bildet sich üblicherweise unregelmäßig und asymmetrisch auf den Rotorblättern. Die daraus entstehenden Gewichtsunterschiede auf den Rotorblättern führen bei der Drehbewegung des Rotors zu einer Unwucht im Triebstrang. Diese Unwucht beeinträchtigt das Maschinenhaus und den Turm.

Die permanent arbeitenden Schwingungswächter erfassen die entstehenden Vibrationen.

#### Erkennung von nicht plausiblen Betriebsparametern

Wichtige Betriebsparameter wie Windgeschwindigkeit und Leistung werden während des Betriebs der Windenergieanlage laufend überwacht und mit den Sollwerten im Steuersystem verglichen. Wenn sich Eis bildet, ändert sich das aerodynamische Profil der Rotorblätter, so dass die tatsächliche Leistung von der erwarteten Leistung abweicht.


Diese Methode zur Erkennung ist auch bei einem gleichmäßigen bzw. symmetrischen Eisansatz wirksam, wenn also keine Unwucht erkannt werden kann.

#### Erkennung von unterschiedlichen Messwerten der Windsensoren

In den Windenergieanlagen von Nordex werden Windgeschwindigkeit und Windrichtung in der Regel durch ein Schalenkreuzanemometer und ein Ultraschall-Anemometer gemessen. Beim Schalenkreuzanemometer wird die Lagerung beheizt, an den Schalen selbst kann sich jedoch Eis ansetzen. Dies führt bei Eisansatz zu einer Verringerung der gemessenen Windgeschwindigkeit.

Das Ultraschallanemometer ist komplett beheizt, hat keine beweglichen Teile und misst die Windgeschwindigkeit bei Eisansatz ohne größere Veränderungen.

Die Messwerte der beiden Anemometer werden ständig miteinander verglichen. Größere oder dauerhafte Abweichungen bei den Messwerten deuten auf Eisansatz hin.


	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 7 / 8

## 2.2 Auswirkungen des erfassten Eisansatzes

Standardmäßig reagiert die Windenergieanlage mit folgenden Maßnahmen auf möglichen Eisansatz:

- Die Windenergieanlage stoppt sofort mit einem sanften Bremsprogramm.
- Der Stopp der Windenergieanlage wird automatisch an die Fernüberwachung gemeldet. Die Fehlermeldung beinhaltet die Ursache des Fehlers.
- Der Stopp der Windenergieanlage wird automatisch im Alarmprotokoll des Steuersystems vermerkt. Das Alarmprotokoll steht zu späterem Nachweis zur Verfügung.
- Wenn der Alarm manuell quittiert wurde, nimmt die Windenergieanlage erneut den normalen Betrieb auf. Der Kunde legt fest, auf welche der folgenden Arten die Anlage zurückgesetzt wird:
  - Lokale Rücksetzung am Steuergerät der Windenergieanlage nach Überprüfung der Bedingungen vor Ort
  - Fernrücksetzung ohne Überprüfung der Bedingungen vor Ort

Aus Sicherheitsgründen ist die Option der lokalen Rücksetzung als Standardoption eingestellt.

	ALLGEMEINE DOKUMENTATION	Dok.: <b>9016288</b>
		Rev.: <b>00</b>
INTEGRIERTER SENSOR ZUR EISERKENNUNG		Seite: 8 / 8

**Projekt: WP Trischelwald**

**Projekt-Nr.:** 5.22.004

**Auftraggeber:** ATE Windpark Trischelwald GmbH & Co. KG

## **Eisdetektionssysteme Windpark Trischwald**

---

### **Inhalt:**

Es wird ein optionales System zur Eiserkennung des Typs IDD.Blade der Firma Wölfel in den Anlagen des Windparks Trischelwald verbaut.

Vertriebsdokument

# **Option Rotorblatt-Eisdetektion in Nordex- Windenergieanlagen**

**Gültig für Nordex K08-Anlagen  
Generation gamma und delta**

K0801\_055240\_DE

Revision 01 / 26.04.2016

- Originalvertriebsdokument -

Dokument wird elektronisch verteilt.

Original mit Unterschriften bei Nordex Energy GmbH, Engineering.

### **Technische Änderungen**

Dieses Dokument wurde mit größter Sorgfalt und unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Normen angefertigt.

Trotzdem können durch stetige Weiterentwicklungen Abbildungen, Funktionsschritte und technische Daten geringfügig abweichen.

### **Copyright**

Copyright 2016 by Nordex Energy GmbH.

Dieses Dokument, einschließlich seiner Darstellung und seines Inhalts ist geistiges Eigentum der Nordex Energy GmbH.

Jegliche Weitergabe, Vervielfältigung oder Übersetzung dieses Dokuments oder Teilen davon in gedruckter, handschriftlicher oder elektronischer Form ohne ausdrückliche Zustimmung durch die Nordex Energy GmbH sind ausdrücklich untersagt.

Alle Rechte vorbehalten.

### **Kontakt**

Bei Fragen zu dieser Dokumentation wenden Sie sich bitte an:

Nordex Energy GmbH

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg

Germany

<http://www.nordex-online.com>

[info@nordex-online.com](mailto:info@nordex-online.com)

# 1. Einführung

Zur Erfüllung behördlicher Auflagen kann ein Eisdetektionssystem für Nordex-Windenergieanlagen (WEA) der Typen gamma und delta eingesetzt werden. Dieses erkennt auch im Stillstand der WEA, ob Eisansatz auf dem Rotorblatt vorhanden ist oder nicht. So erfolgt eine Alarmmeldung und Abschaltung der WEA nur, solange sich tatsächlich gefährliches Eis auf den Rotorblättern befindet.

## 2. Systembeschreibung

### 2.1 Funktionsprinzip

Das Rotorblatt-Eiserkennungssystem ist ein System zur Erfassung und Analyse von Meßdaten, mit denen Eisansatz an den Rotorblättern der WEA erkannt werden kann. Die Funktionsweise beruht auf der Messung von Beschleunigung und Temperatur im Innern aller Rotorblätter einer WEA. Grundsätzlich erkennt das Eisdetektionssystem Massenveränderungen am Rotorblatt durch Eis, weil dadurch die Eigenfrequenz der Rotorblätter verändert wird.

### 2.2 Systemübersicht

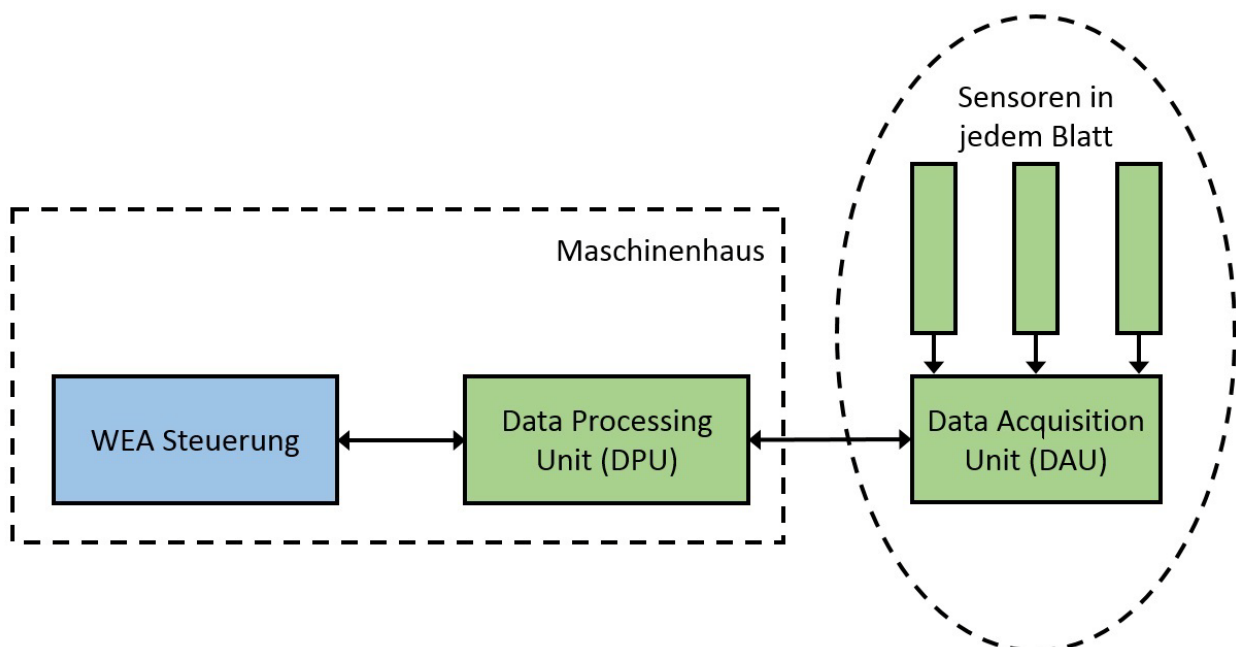


Abb. 1 Schematische Darstellung des in der Nordex-WEA integrierten Rotorblatt-Eisdetektionssystems

## 2.3 Funktionen

### Eiserkennung

- fortlaufende Bestimmung des Vereisungszustandes der Rotorblätter bei mindestens 2,5 m/s Windgeschwindigkeit
  - im Teillastbetrieb oder
  - im Nennlastbetrieb oder
  - im Trudelbetrieb oder
  - bei WEA-Stillstand (ohne aktive Bremse oder Rotor-Lock)
- Eisansatz-Alarm beim Überschreiten des Alarmschwellenwertes und automatisches Abschalten der WEA
- Rücksetzen des Eisansatzalarms zum automatischen Wiedereinschalten der WEA, wenn kein gefährlicher Eisansatz mehr vorhanden ist oder alternativ manuelle Rücksetzung vor Ort oder im Fernzugriff parametrierbar

### Systemfunktionen

- permanente Überwachung der Systemfunktionen und -komponenten
- Systemmeldungen, die einen sicheren Zustand der WEA gewährleisten
- unter bestimmten Umgebungsbedingungen kann das Anlaufen bzw. der Betrieb der Anlage um einige Minuten verzögert/unterbrochen werden

## 3. Liefer- und Leistungsumfang

Die folgenden Bauteile und Leistungen sind in der Option Rotorblatt-Eisdetektion enthalten:

- Sensoren für drei Rotorblätter
- eine Datenerfassungseinheit (Data Acquisition Unit - DAU)
- eine Datenverarbeitungseinheit (Data Processing Unit - DPU)
- Installation und Inbetriebnahme des Systems

## 4. Technische Daten des Gesamtsystems

Gesamtsystem	
Stromversorgung	100 ...240 V AC/ 45 ... 65 Hz, 24 V DC
Leistungsaufnahme	ca. 150 W

<b>Gesamtsystem</b>	
Betriebstemperaturbereich Normal Climate Version (NCV)	-20 °C bis +50 °C
Betriebstemperaturbereich Cold Climate Version (CCV)	-40 °C bis +50 °C
Blitz- und Überspannungsschutz	nach IEC 61400-24
EMV Störfestigkeit	entsprechend IEC 61000-6-2
EMV Störaussendung	entsprechend IEC 61000-6-2

## 5. Zertifikate und Konformität

CE-Konformität	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2006/95/EG Niederspannungsrichtlinie</li> <li>- 2004/108/EG EMV-Richtlinie</li> <li>- 1999/5/EG Richtlinie für Funkanlagen und Telekommunikationsendeeinrichtungen</li> <li>- DIN EN 61439-1,-2 Niederspannungsschaltgeräte-Kombinationen</li> </ul>
Hersteller Produkt-Zertifizierung	System "IDD.Blade" entspricht der GL-Richtlinie "Guideline for Condition Monitoring Systems of Wind Turbines" Edition 2013 vom Germanischen Lloyd
Gutachten TÜV NORD	"Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an Nordex Windenergieanlagen"

Nordex Energy GmbH  
Langenhorner Chaussee 600  
22419 Hamburg  
Germany  
<http://www.nordex-online.com>  
[info@nordex-online.com](mailto:info@nordex-online.com)

## Zusammenfassung des Gutachtens

### Zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen

<b>TÜV NORD Bericht Nr.:</b>	8118 365 241 D Rev.2
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Untersuchung der Funktionalität und Zuverlässigkeit des in NORDEX Windenergie- anlagen installierten Eiserkennungssystems IDD.Blade der Firma Wölfel
<b>Anlagenhersteller:</b>	NORDEX Energy SE & Co. KG Langenhorner Chaussee 600 22419 Hamburg Deutschland
<b>Aufsteller der Nachweise:</b>	TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG Große Bahnstraße 31 22525 Hamburg Deutschland

Diese Zusammenfassung umfasst 5 Seiten.

Rev.	Datum	Änderungen
0	24.09.2020	Neue Berichtsnummer, basierend auf Vorgängerdokument 8111 327 215 D Rev.1, Ergänzungen und redaktionelle Änderungen
1	09.07.2021	Ergänzung der N163 6.X, Umbenennung des Anlagenherstellers von NORDEX Energy GmbH in NORDEX Energy SE & Co. KG
2	29.05.2024	Revision der Referenz, Ergänzung der N175 6.X

## 1 Einführung

Die Rotorblätter von Windenergieanlagen, die in Regionen mit Temperaturen unter 3°C aufgestellt werden, können bei ungünstigen Bedingungen Eis ansammeln. Aus der dann entstehenden Eisschicht können sich durch Abtauen oder Blattverformung Eisstücke ablösen, die im Betrieb der Anlage vom Rotorblatt abgeworfen werden (Eisabwurf) und zu Personen- oder Sachschäden im Wurfbereich der Anlage führen können. Durch die Integration von Eiserkennungssystemen, die bei Vereisung der Anlage für eine Abschaltung sorgen, soll diese Gefahr verhindert werden. Das ausführliche Gutachten /1/ befasst sich mit der Bewertung der Funktionsweise und der Eignung des IDD.BLADE Eiserkennungssystems der Firma Wölfel bezüglich der zuverlässigen Eiserkennung bei Einsatz auf den folgenden Windenergieanlagen:

**Tabelle 1.1:** NORDEX Windenergieanlagen, an denen das IDD.Blade Eiserkennungssystem zum Einsatz kommen soll

Anlagentyp	Rotorblatt	Rotor- durch- messer [m]	Nabenhöhe [m]	Einschalt- Windge- schwindig- keit [m/s]	Abschalt- Windge- schwindig- keit [m/s]	Nenn- drehzahl [1/min]
N90/2500 Gamma	NR45, LM43.8P	90	65, 70, 80	3	25	16,3
N100/2500 Gamma	NR50-1, LM48.8P	100	75, 80, 100	3	25	14,98
N117/2400 Gamma	NR58.5-1	117	91, 120, 141	3	20	11,8
N100/3300 Delta	NR50 -2	100	75, 85, 100	3	25	14,3
N117/3000 Delta	NR58.5-2	117	91, 120, 141	3	25	12,6
N131/3000 Delta	NR65.5	131	99, 114, 134	2,5	20	10,27
N131/3300 Delta	NR65.5	131	134, 164	3	20	10,9
N117/3600 Delta	NR58.5-2	117	91, 106, 120, 141	3	25	12,57
N131/3600 Delta	NR65.5	131	84, 106, 112, 120, 134	3	20	12,57
N131/3900 Delta	NR65.5	131	84, 120, 134	3	20	12,57
N133/4800 Delta4000	NR65.5-3	133	83, 110, 125	3	22	12,2
N149/4500 Delta4000	NR74.5-1	149	105, 125, 164	3	26	11,02
N149 5.X Delta4000	NR74.5	149	105, 120, 125, 145, 155, 164	3	26 <sup>1)</sup>	10,7 <sup>2)</sup>

Anlagentyp	Rotorblatt	Rotor- durch- messer [m]	Nabenhöhe [m]	Einschalt- Windge- schwindig- keit [m/s]	Abschalt- Windge- schwindig- keit [m/s]	Nenn- drehzahl [1/min]
N163 5.X Delta4000	NR81.5	163	108, 118, 120, 148, 164	3	26 <sup>1)</sup>	10,4 <sup>2)</sup>
N163 6.X Delta4000	NR81.5	163	98.5, 113, 118, 138, 148, 159, 164	3	20 <sup>1)</sup>	10,0
N175 6.X Delta4000	NR85.7	175	179	3	20 <sup>1)</sup>	9,025

- 1) Maximalwert, die Abschaltwindgeschwindigkeit kann projektspezifisch zur Sicherstellung der Standsicherheit reduziert werden.
- 2) Maximalwert, Rotornenndrehzahl kann reduziert werden.

Das vorliegende Dokument stellt eine Zusammenfassung von /1/ dar.

## 2 Systembeschreibung

Das Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel ist ein System zur Erfassung und Analyse von Messdaten, mit dem Eisansatz an Rotorblättern von WEA erkannt werden kann. Grundsätzlich detektiert IDD.Blade durch Vereisung verursachte Zustandsveränderungen, die das strukturdynamische Verhalten eines Rotorblattes über ein spezifisches Mindestmaß hinaus beeinflussen. Es beruht auf dem physikalischen Grundprinzip, dass messbare, bauteilcharakteristische Kennwerte wie die Eigenfrequenz eines Rotorblatts von einer Änderung der Bauteilsteifigkeit oder der Bauteilmasse, beispielsweise durch Eisansatz, beeinflusst werden.

Um die Veränderungen der bauteilcharakteristischen Kennwerte zu detektieren, werden beim Eiserkennungssystem IDD.Blade Beschleunigungen direkt in den Rotorblättern einer WEA erfasst und ausgewertet. Die Messung erfolgt mit sogenannten *Structural Noise Sensoren* (SNS), die neben den Beschleunigungen auch die aktuelle Bauteiltemperatur zur Verfügung stellen. Die Datenerfassung und Auswertung erfolgt kontinuierlich.

Nach erfolgreicher Referenzierung des Eiserkennungssystems, bei der ein Vergleich zwischen Blattzuständen mit fest hinterlegten Referenz-zuständen durchgeführt wird, werden im laufenden Betrieb Zustandsindikatoren bereitgestellt, anhand derer eine Beurteilung über den aktuellen Vereisungszustand der Rotorblätter vorgenommen werden kann.

Durch die Vorgabe von zwei Schwellwerten ist es möglich, automatische Warn- und Alarmmeldungen (Ampelfunktion grün, gelb, rot) zu generieren. Die Bestimmung der Schwellwerte selbst erfolgt mit statistischen Methoden im Rahmen eines Prototypentests sowie ggf. mit weiteren numerischen Untersuchungen im Rahmen der rotorblatt- und anlagenspezifischen Anpassung (Referenzierungsphase) und kann bei Bedarf kunden- bzw. standortspezifisch angepasst werden.

Auf Basis des ampelbasierten Alarmkonzeptes ist eine aktive Beeinflussung der WEA-Steuerung möglich. Im Falle von relevanten Vereisungen kann die WEA automatisch gestoppt bzw. nach Abtauen wieder gestartet werden.

Es gibt Betriebszustände, bei denen die Bereitstellung von Zustandsindikatoren nicht möglich ist. Dies ist der Fall bei

- Windgeschwindigkeiten  $< 2$  bis  $3$  m/s
- Drehzahl- und Pitchwinkelveränderungen außerhalb des normalen Betriebsbereichs (Starten und Stoppen der WEA)
- Ggf. einzelne Betriebsdrehzahlen, bei denen eine Auswertung nicht möglich ist (anlagenspezifisch)

In diesen Fällen wird vom IDD.Blade Eiserkennungssystem eine entsprechende Meldung ausgegeben, sodass die sicherheitstechnische Steuerung der WEA darauf reagieren und die Anlage ggf. nach verstreichen einer kritischen Zeit abschalten kann, um den Abwurf von unerkanntem Eisansatz zu verhindern.

### **3 Prüfbeschreibung**

Im Gutachten /1/ wurde die kritische Eisdicke und damit einhergehend die kritische Detektionszeit für verschiedene NORDEX Anlagen ermittelt. Die geringste kritische Eisdicke stellt sich bei der NORDEX N100/2500 Gamma (Nabenhöhe 75,0) zu  $1,4$  cm ein. Damit einhergehend ergibt sich eine kritische Detektionszeit von etwa 14 Minuten. Diese Eisdicke und Detektionszeit wurde konservativ für die weitere Bewertung als Maßstab herangezogen.

Die grundsätzliche, anlagenunabhängige Eignung der vom IDD.Blade System verwendeten Sensorik und Auswerteeinheiten sowie die allgemeine Funktionsfähigkeit des Systemaufbaus bezüglich der zuverlässigen Detektion von globalen, strukturdynamischen Zustandsveränderungen wurde bereits im Rahmen einer früheren Begutachtung durch die Zertifizierungsstelle des Germanischen Lloyd, unter anderem auf Basis eines experimentellen Nachweises im Rotorblatttestprüfstand, geprüft und bestätigt. Darüber hinausgehend wurde in der hier vorliegenden Begutachtung durch genauere, quantitative Untersuchungen überprüft, ob das Eiserkennungssystem hinsichtlich der Schwellwerte und Parameter korrekt auf die Anlagen eingestellt ist und die ermittelten kritischen Eisdicken innerhalb der ermittelten kritischen Detektionszeiten zuverlässig erkennen und melden kann.

Im Rahmen der Testprozedur wurde das IDD.Blade Eiserkennungssystem anhand von numerischen Simulationsmodellen, welche auf den zwei repräsentativ ausgewählten Windenergieanlagen N100/2500 Gamma und N117/3000 Delta basieren, referenziert. Anschließend wurden verschiedene, maßgeblich auf den ermittelten kritischen Eisdicken basierende Vereisungsszenarien mittels Massen-manipulation der Anlagenmodelle simuliert und vom IDD.Blade Eiserkennungssystem ausgewertet. Im Zuge der Begutachtung des IDD.Blade Eiserkennungssystems wurden auf diese Weise 60 Testblöcke abgeprüft, welche Testszenarien als repräsentative Kombinationen von Wind-, Vereisungs- und Betriebsbedingungen der betrachteten Windenergieanlagen darstellen.

## 4 Prüfergebnisse

Auf Grundlage dieser Auswertungen wurde stark indiziert, dass das IDD.Blade Eiserkennungssystem ohne Einschränkungen in der Lage ist, die festgelegten kritischen Eisdicken in der kritischen Zeit zuverlässig und reproduzierbar in der Testumgebung und an den repräsentativ ausgewählten Windenergieanlagen zu detektieren. Auf Basis der Ergebnisse wird in der Verwendung der Eiswarnung als Abschaltkriterium der Windenergieanlagen das Potential gesehen, die Zuverlässigkeit der Eisdetektion bezüglich der kritischen Detektionszeit weiter zu erhöhen.

Das Eiserkennungssystem ist für die untersuchten Anlagen kompatibel mit den vorhandenen NORDEX Betriebsführungs- und Sicherheitssystemen und erfüllt das für diese Systeme maßgebliche Einzelfehlerkriterium. Die Parametrisierung der Anlage erfolgt im Rahmen der geregelten Inbetriebnahme und darf nur von autorisierten und dafür ausgebildeten Mitarbeitern vorgenommen werden. Die Prüfergebnisse sind auf die in Tabelle 1.1 genannten Anlagen der K08 Gamma, K08 Delta und Delta4000 Serien übertragbar. Die möglichen Verfahren zur Vermeidung des Wiederanfahrens nach Vereisung werden als ausreichend sicher bewertet.

## 5 Fazit

Das Gutachten /1/ kommt zusammenfassend zu dem Schluss, dass die untersuchten NORDEX Windenergieanlagen in Verbindung mit dem Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel hinsichtlich der Eiserkennung dem Stand der Technik entsprechen und alle Ergebnisse dafür sprechen, dass unter den genannten Bedingungen eine Eisdicke erkannt wird, die geringer ist als die individuelle kritische Eisdicke.

Erstellt:

Geprüft:

Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald

Dipl.-Ing. L. Klüppel

## Referenz

/1/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
Gutachten zur Bewertung der Funktionalität eines Eiserkennungssystems zur  
Verhinderung von Eisabwurf an NORDEX Windenergieanlagen  
Bericht Nr.: 8111 327 215 D Rev.7  
Datum: 29.05.2024



# TYPE CERTIFICATE

Certificate No.:  
TC-DNV-SE-0439-03577-4

Issued:  
2025-01-17

Valid until:  
2027-01-17

Issued for:

## Ice Detection System IDD.Blade

Specified in Annex 1

Issued to:

## Wölfel Wind Systems GmbH + Co. KG

Max-Planck-Str. 15

97204 Höchberg, Germany

According to:

## DNV-SE-0439:2021-10 Certification of condition monitoring

Based on the document:

CR-DNV-SE-0439-03577-4

Certification Report Ice Detection System IDD.Blade,  
dated 2025-01-17

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

Hellerup, 2025-01-17

For DNV Renewables Certification

**Christopher Harrison**  
Service Line Leader Component Certification



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

Hamburg, 2025-01-17

For DNV Renewables Certification

**Peter Schmidt**  
Principal Project Manager

# TYPE CERTIFICATE – ANNEX 1

---

Certificate No.:  
TC-DNV-SE-0439-03577-4

Page 2 of 2

## General

System name  
Manufacturer

IDD.Blade  
Wölfel Wind Systems GmbH + Co. KG

## Hardware

Name

Structural Noise Sensor SNS, Data Acquisition and  
Processing Unit DAPU  
*alternative:*  
DAPU based on PLCnext Technology

Data sheet

Produktspezifikation IDD.Blade, SHMB-02-PS-IDD, Rev. 1  
*alternative:*  
Produktspezifikation IDD.Blade, SHMB-05-PS-IDD, Rev. 1  
Produktspezifikation IDD.Blade – Optische SNS, SHMB-  
04-PS-IDD, Rev. 5

No. of sensors per blade

≥1

## Software

Name  
Version

SHMB  
05

## Manuals

Inbetriebnahmeanleitung  
Montage- und Wartungsanleitung

SHMB-04-Anleitung Inbetriebnahme, Rev. 2  
SHMB-04 Anleitung Montage Wartung, Rev. 4

## Interfaces

Rotor Blade