

Eisfallgutachten für
zwei Windenergieanlagen
am Standort
Sundern Erweiterung
(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 29.09.2023

23-1-3135-000-EB

Auftraggeber:

Trianel Wind und Solar GmbH & Co. KG

Krefelder Straße 203 | 52070 Aachen

Auftragsnummer: 352005650

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Dipl.-Geogr. Marc Brüning

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Das vorliegende Eisfallgutachten für den Standort Sundern Erweiterung (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im August 2023 von der Trianel Wind und Solar 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	29.09.2023	M. Brüning	Planung von zwei Windenergieanlagen des Typs Enercon E-175 EP5

Kassel, 29.09.2023



Dipl.-Geogr. Marc Brüning
(Bearbeiter)



Astrid v. Kameke, M. Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

1	Aufgabenstellung	4
2	Grundlagen	6
2.1	Windenergieanlagen	6
2.2	Automatische Eisabschaltung	6
2.3	Vereisungspotential	8
2.4	Windrichtungsverteilung	9
2.5	Rechtlicher Rahmen	11
3	Gefährdungsbereiche	14
4	Risikoanalyse	19
4.1	Grundlagen der Risikoermittlung	19
4.2	Grundlagen Bewertung des Risikos	20
4.3	Risikoanalyse am Standort Sundern Erweiterung	21
5	Literaturverzeichnis	24
6	Anhang	25

1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant am Standort Sundern Erweiterung zwischen den Orten Stockum im Norden, Hagen im Westen und Allendorf im Nordwesten zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Enercon E-175 EP5 mit 162 m Nabenhöhe zu errichten. Vor Ort befinden sich weitere WEA in einem fortgeschrittenem Planungsstadium, die auf ihre Relevanz als Vorbelastung untersucht werden.

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.

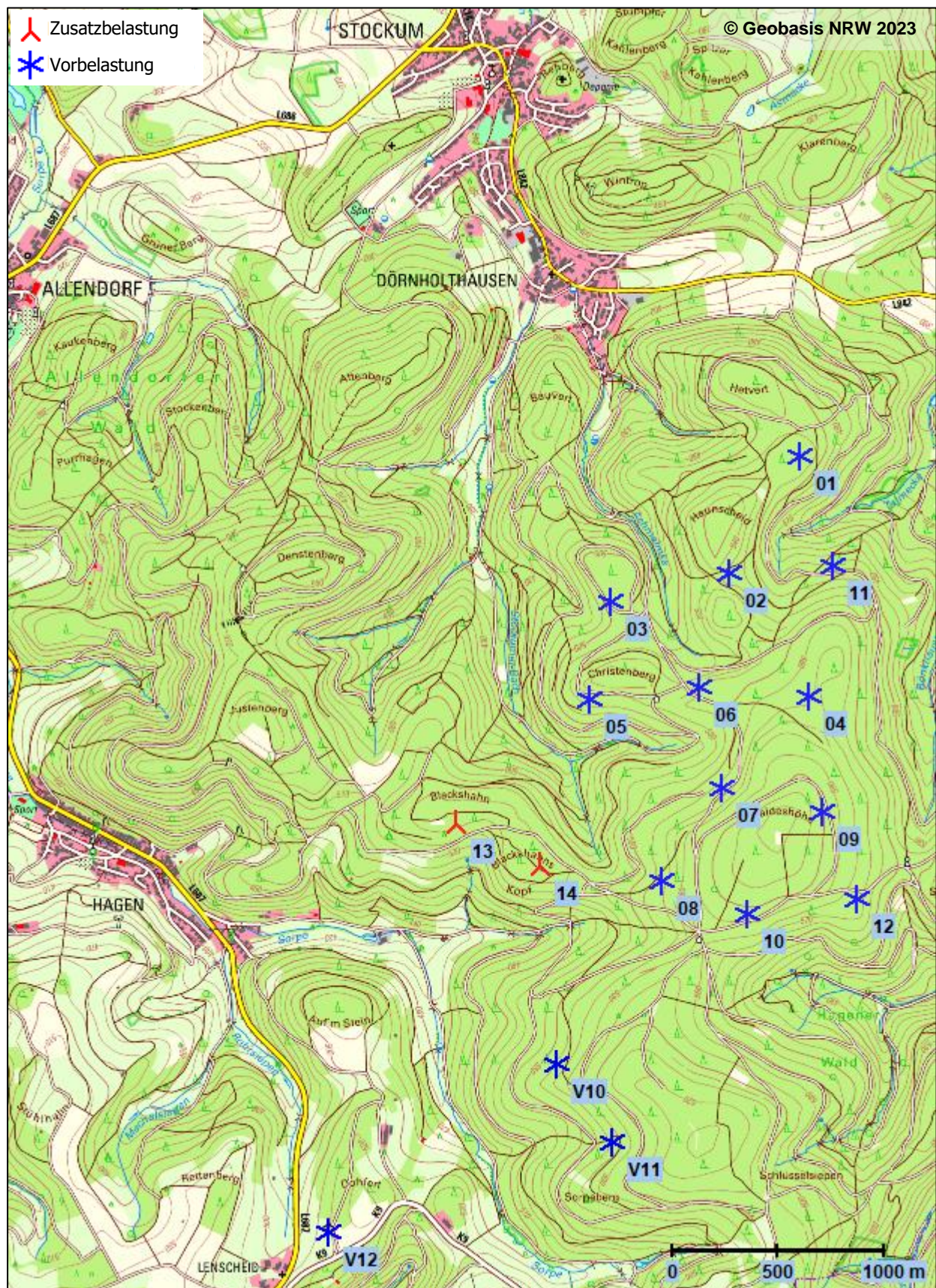


Abbildung 1: Übersichtskarte

2 Grundlagen

2.1 Windenergieanlagen

Am Standort Sundern Erweiterung sind zwei Windenergieanlagen des Typs Enercon E-175 EP5 geplant. Nordöstlich bis südöstlich befinden sich weitere WEA in einem fortgeschrittenen Planungsstadium. Die nächstgelegenen WEA 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 ^{*)}
					Ost	Nord	
13	Enercon E-175 EP5	162,0	175	249,5	429.132	5.679.401	ZB
14	Enercon E-175 EP5	162,0	175	249,5	429.527	5.679.205	ZB
05	Enercon E-160 EP5 E3	166,6	160	246,6	429.763	5.679.994	VB
07	Enercon E-160 EP5 E3	166,6	160	246,6	430.389	5.679.577	VB
08	Enercon E-160 EP5 E3	166,6	160	246,6	430.107	5.679.130	VB
10	Enercon E-160 EP5 E3	166,6	160	246,6	430.513	5.678.980	VB
V10	Vestas V162	166,0	162	247,0	429.603	5.678.263	VB

^{*)} ZB: Zusatzbelastung, VB: Vorbelastung.

2.2 Automatische Eisabschaltung

Für Windenergieanlagen stehen verschiedene Eiserkennungsmöglichkeiten zur Verfügung, welche die Anlagen bei Eisansatz stoppen. Bei Signalisierung des unten beschriebenen Mechanismus 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.

Der folgende Mechanismus detektiert Eis am Rotorblatt von WEA des Herstellers Enercon:

- Eisansatzerkennung Enercon Windenergieanlagen EP5

Bei Windenergieanlagen der EP5-Serie der Firma Enercon wird Eisansatz am Rotorblatt mittels der zertifizierten Wölfel-Eisansatzerkennung detektiert. Die Eisansatzerkennung erfolgt dabei unabhängig vom Betrieb der Windenergieanlage. Das Eisansatzerkennungssystem ist direkt in die Anlagensteuerung eingebunden und erkennt Eisdicken an Rotorblättern von Windenergieanlagen durch eine Frequenzanalyse der Rotorblattschwingungen. Über Sensoren mit einer hohen Signalauflösung werden die Schwingbeschleunigungen und die Temperatur direkt im Rotorblatt erfasst und an eine Datenverarbeitungseinheit im Rotorkopf übermittelt, welche die Messdaten vollautomatisiert verarbeitet und die Zustandsindikatoren zur Eisdetektion unter Berücksichtigung der Betriebs- und Umgebungsdaten der Windenergieanlage berechnet. Unterschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für den Eisalarm, wird ein Signal generiert, welches kritischen Eisansatz signalisiert und die Windenergieanlage wird angehalten [1].

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.¹ Besondere deterministische Sicherheitskonzepte zu Abschaltssystemen bei Eisansatz sind bei Windenergieanlagen in aller Regel nicht gefordert. Einzuhalten ist der Stand der Technik i.S.d. § 49 I i.V.m. Abs. 2 Nr. 1 EnWG² i.V.m. § 5 I BImSchG³. Entsprechend müssen die technischen Einrichtungen zur automatischen Abschaltung durch eine gutachterliche Stellungnahme auf die Funktionssicherheit geprüft werden.⁴ Dies ist i.d.R. der Fall und wird hier angenommen.

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

² 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.

³ 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.

⁴ Vgl. Windenergie-Erlass NRW

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 2000 bis einschließlich 2021 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 auf wie viele Tage mit Vereisungsbedingungen (Eistage) meteorologisch im Jahr am Standort Sundern Erweiterung 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 2000 bis einschließlich 2021 ergeben sich durchschnittlich 37 Eistage pro Jahr, was einer Häufigkeit von ca. 10 % entspricht. Eine Analyse des Deutschen Wetterdienstes stützt diese Ergebnisse, in

der 30 bis 40 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 Sundern Erweiterung 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 2000 bis einschließlich 2021 für den Standort Sundern Erweiterung ergibt im Durchschnitt 12 Vereisungstage pro Jahr. Die jährliche Vereisungshäufigkeit entspricht somit etwa 3,3 %. 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 2000 bis einschließlich 2021) sind Westsüdwest (17 %), Südsüdwest (17,2 %) und West (17,9 %). Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten mit bis zu 12,8 m/s treten in der Windrichtung Süd auf (vgl. Tabelle 2).

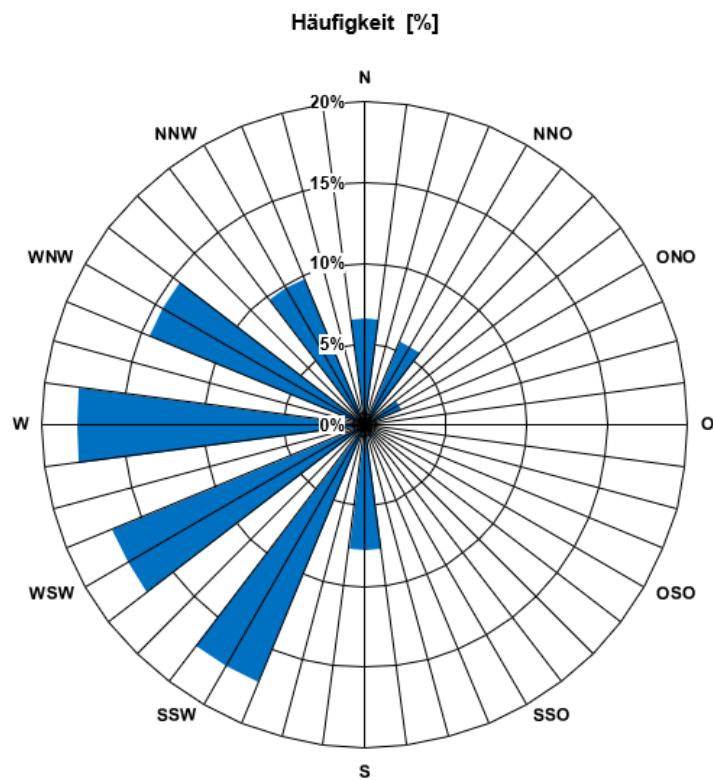


Abbildung 2: Windrose der gefilterten Daten in 200 m Höhe nach Szenario 2 für die Jahre 2000 bis einschließlich 2021 am Standort Sundern Erweiterung

Tabelle 2: Mittlere Windgeschwindigkeit und Häufigkeit in 200 m Höhe in Abhängigkeit der Windrichtung der gefilterten Daten nach Szenario 2 für die Jahre 2000 bis einschließlich 2021 am Standort Sundern Erweiterung

Windrichtungssektor	Häufigkeit [%]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]
N	6,6	8,0
NNO	5,6	8,9
ONO	2,4	9,4
O	0,3	5,9
OSO	0,2	5,6
SSO	0,8	12,2
S	7,8	12,8
SSW	17,2	11,8
WSW	17,0	10,6
W	17,9	11,3
WNW	14,5	10,6
NNW	9,8	9,7

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 LBO⁵ bauliche Anlagen so anzuordnen und zu errichten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht bedroht

⁵ 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.⁶ 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.⁷ 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.⁸ Eisdetektionssysteme können das Restrisiko – gemessen am „Maßstab der praktischen Vernunft“⁹ – maximal erforderlich minimieren.¹⁰ 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.¹¹

⁶ BVerfGE 49, 89 (142 f.).

⁷ 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.

⁸ VG Freiburg, Urt. v. 25.10.2005 - 1 K 653/04.

⁹ BVerfGE 49, 89 (143).

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

¹¹ 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 Enercon E-175 EP5 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 m² betrachtet. Die maximale Fallweite für ein Eisstück dieser Beschaffenheit wird für jede Windgeschwindigkeitsklasse (0 bis 26 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)	21-26 (RZ 5)
Max. Fallweite WEA 13 [m]	120	155	232	326	445
Max. Fallweite WEA 14 [m]	120	153	230	330	468
Max. Fallweite WEA 05 [m]	113	154	237	334	481
Max. Fallweite WEA 07 [m]	113	150	228	317	441
Max. Fallweite WEA 08 [m]	113	150	224	310	435
Max. Fallweite WEA 10 [m]	112	151	232	335	484
Max. Fallweite WEA V10 [m]	114	151	227	318	434

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

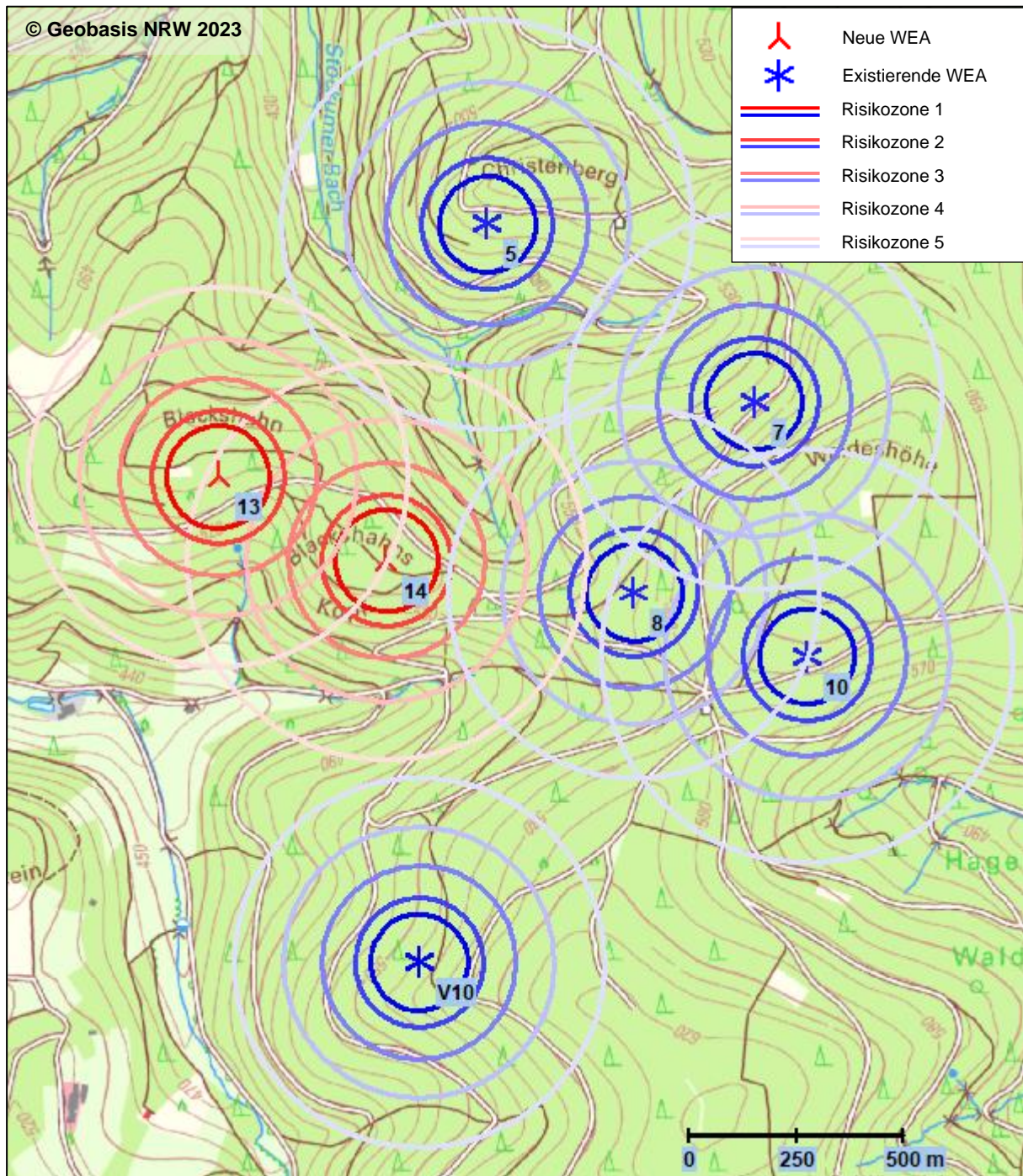


Abbildung 3: Risikozonen

Da es keine Überschneidungsbereiche der Risikozonen der geplanten WEA mit den parallel geplanten WEA 7, 10 und V10 gibt (siehe Abbildung 3), müssen diese bei der Risikoermittlung nicht weiter als Vorbelastung berücksichtigt werden.

Für die Risikobewertung des Eisfalls am Standort Sundern Erweiterung wurden die in der Umgebung des Standorts liegenden Gefährdungsbereiche auf Basis einer detaillierten ATKIS-Karte und einer Standortbesichtigung am 21.09.2023 ermittelt und untersucht.

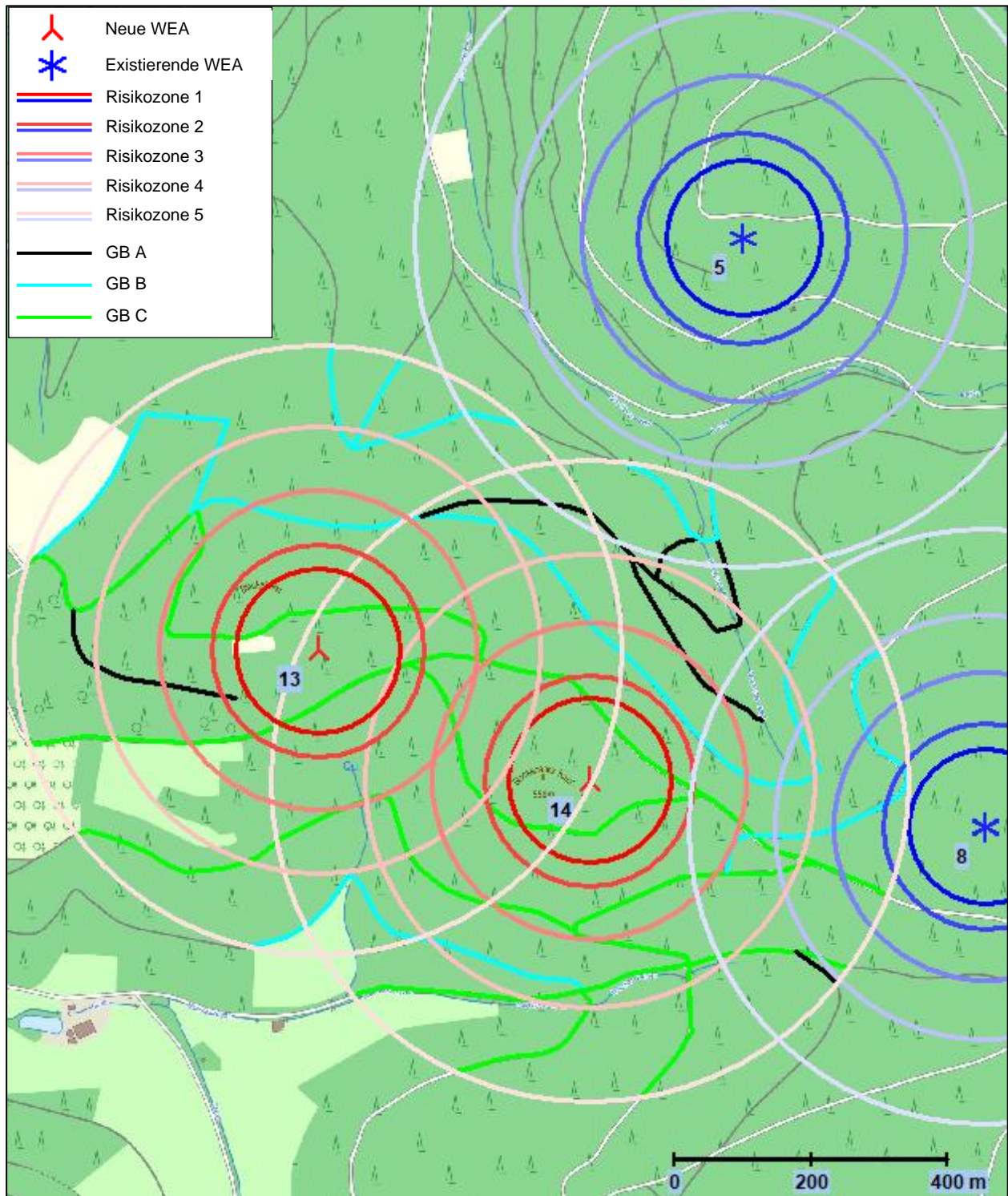


Abbildung 4: WEA 13 und 14 mit GB A, GB B und GB C (© Geoglis [8])

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 Abbildung 4 durch farbige Linien hervorgehoben.

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

Bei Gefährdungsbereich B 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 20 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 Wirtschafts- und ausgewiesene Wanderwege. Diese werden von Fußgängern (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 20 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.

Tabelle 4: Zusammenfassung Gefährdungsbereiche

Gefährdungs-		Bezeichnung	Frequentierung pro Tag [Anzahl Wegstrecken]	Geschwindigkeit
Bereich	Gruppe			
A	P	Unbefestigte Wirtschaftswege	10	3 km/h
	K		4	10 km/h
B	P	Befestigte Wirtschaftswege	25	3 km/h
	K		20	20 km/h
C	P	Befestigte Wirtschafts- und Wanderwege	50	3 km/h
	K		20	20 km/h

Die für die jeweiligen Gefährdungsbereiche in den verschiedenen Risikozonen relevanten Windrichtungen sind unterteilt in zwölf Bereiche in den nachfolgenden Tabellen 5 bis 8 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 13

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

Tabelle 6: Relevante Windrichtungen der zum Gesamtrisiko beitragenden WEA für WEA 13

WEA	GB A	GB B	GB C
14	SSO, S	ONO, SSO, S	Alle
5	NNO	ONO	-
8	-	-	-

Tabelle 7: Relevante Windrichtungen WEA 14

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

Tabelle 8: Relevante Windrichtungen der zum Gesamtrisiko beitragenden WEA für WEA 14

WEA	GB A	GB B	GB C
14	SSW, WSW	N, SSW, WSW, W, NNW	Alle
5	N, NNO	N, NNO	-
8	NNO, ONO, OSO	O, OSO, SSO	NNO, ONO, O

Die Gefährdungsbereiche werden entsprechend ihrer Lage einer Risikozone zugeordnet, für die in Kapitel 4 eine Risikobewertung auf Basis der in den Tabellen 4 bis 8 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.¹²

4.1 Grundlagen der Risikoermittlung

Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird für eine Rasterzelle von 5x5 m² 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 Eisstücken¹³ 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.

¹² BVerfGE 49, 89 (142).

¹³ 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 Personen bzw. Kfz berücksichtigt.

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

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 Technologie¹⁴ ausgeht. Die Sterblichkeitsrate beträgt $2 \cdot 10^{-4}$ Todesfälle pro Jahr¹⁵.

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.

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].

¹⁴ Dies betrifft alle Lebensbereiche wie Arbeit, Verkehr und Freizeit.

¹⁵ 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.

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

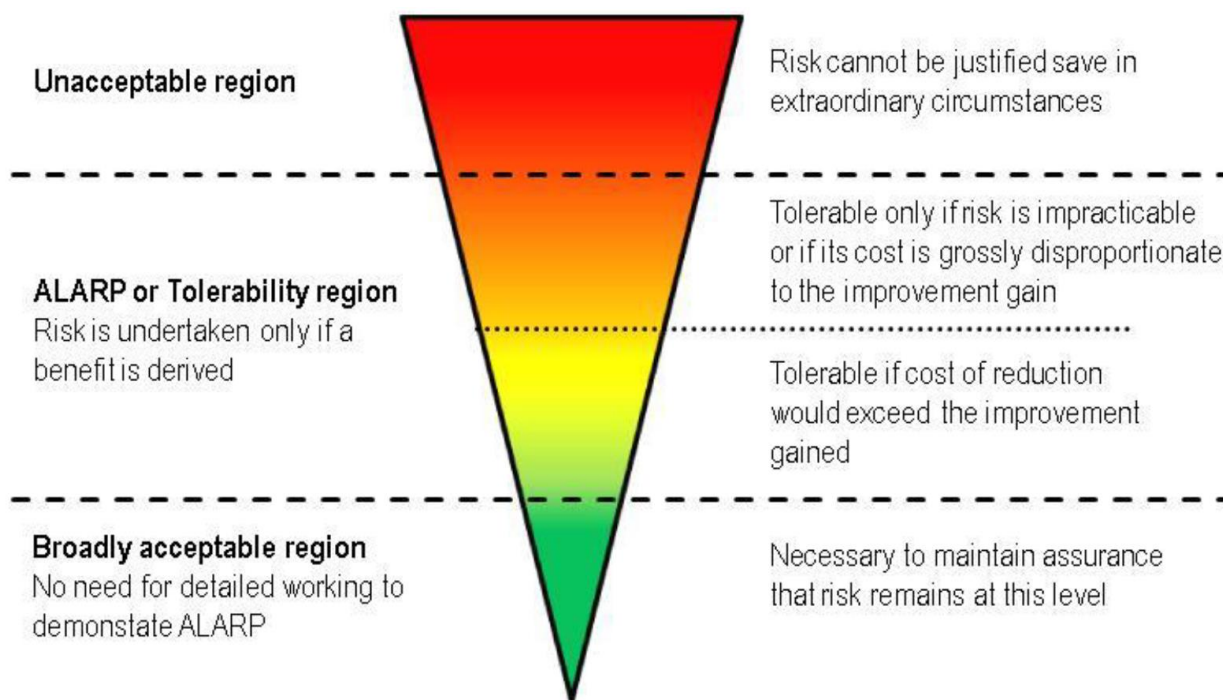


Abbildung 5: ALARP-Prinzip [10]

Daraus ergeben sich die in Tabelle 9 dargestellten Bewertungen.

Tabelle 9: 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 Sundern Erweiterung

Am Standort Sundern Erweiterung wurde eine Berechnung des Tötungsrisikos durch Eisfall von zwei geplanten Windenergieanlagen des Typs Enercon E-175 EP5 bezogen auf den Zeitraum

eines Jahres durchgeführt. Grundlage der Risikobewertung ist für alle 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 sind. So wird sichergestellt, dass sich die WEA bei Eisansatz nicht in Betrieb befinden und somit eine Gefährdung nur durch herabfallende Eisstücke während des Trudelbetriebs¹⁶ 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.

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 10: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA 13

Gefährdungs-		Grundlage Risikobewertung	Trefferhäufigkeit				
Bereich	Gruppe		RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	RZ5
A	P	individuell	-	$5,9 * 10^{-10}$	$2,6 * 10^{-10}$	$3,2 * 10^{-10}$	$7,2 * 10^{-12}$
	K	individuell	-	$1,6 * 10^{-9}$	$6,8 * 10^{-10}$	$8,6 * 10^{-10}$	$1,9 * 10^{-11}$
B	P	individuell	-	-	$6,2 * 10^{-9}$	$1,0 * 10^{-9}$	$1,9 * 10^{-9}$
	K	individuell	-	-	$1,6 * 10^{-8}$	$2,7 * 10^{-9}$	$5,1 * 10^{-9}$
C	P	individuell	$1,5 * 10^{-7}$	$5,0 * 10^{-8}$	$3,6 * 10^{-8}$	$3,5 * 10^{-9}$	$1,5 * 10^{-7}$
	K	individuell	$2,0 * 10^{-7}$	$6,7 * 10^{-8}$	$4,7 * 10^{-8}$	$4,6 * 10^{-9}$	$2,0 * 10^{-7}$

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

Tabelle 11: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA 14

Gefährdungs-		Grundlage Risikobewertung	Trefferhäufigkeit				
Bereich	Gruppe		RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	RZ5
A	P	individuell	-	-	$3,3 * 10^{-9}$	$3,8 * 10^{-10}$	$3,3 * 10^{-10}$
	K	individuell	-	-	$8,8 * 10^{-9}$	$1,0 * 10^{-9}$	$8,9 * 10^{-10}$
B	P	individuell	-	-	$1,8 * 10^{-8}$	$1,7 * 10^{-9}$	$4,9 * 10^{-9}$
	K	individuell	-	-	$4,8 * 10^{-8}$	$4,5 * 10^{-9}$	$1,3 * 10^{-8}$
C	P	individuell	$1,5 * 10^{-7}$	$3,6 * 10^{-8}$	$3,8 * 10^{-8}$	$1,5 * 10^{-7}$	$1,5 * 10^{-7}$
	K	individuell	$2,0 * 10^{-7}$	$4,7 * 10^{-8}$	$5,1 * 10^{-8}$	$2,0 * 10^{-7}$	$2,0 * 10^{-7}$

Die Richtwerte werden für alle Gefährdungsbereiche um mindestens den Faktor 49 unterschritten. Nach dem ALARP-Prinzip sind für GB A und GB B bei beiden geplanten WEA keine risikoreduzierenden Maßnahmen erforderlich. Mit einfachen Maßnahmen wie dem Aufstellen von Warnhinweisen im Bereich der Risikozonen kann jedoch eine weitere Risikominimierung erreicht werden. Für GB C sind bei beiden geplanten WEA in der Regel keine Maßnahmen erforderlich. Es ist jedoch zu empfehlen, jeweils Warnschilder im Bereich von Wegen innerhalb der jeweiligen Risikozone 1 aufzustellen.

Somit sind potenzielle Gefahren für den Menschen durch Eisfall ausgehend von den geplanten WEA am Standort Sundern Erweiterung als akzeptables bzw. tolerables Restrisiko einzustufen.

Mit einfachen Maßnahmen wie dem Aufstellen von Warnhinweisen im Bereich der Risikozonen kann eine weitere Risikominimierung erreicht werden, welche insbesondere im Bereich der Zonen des tolerablen Risikos zu empfehlen sind.

5 Literaturverzeichnis

- [1] ENERCON GmbH, „Technische Beschreibung Eisansatzerkennung ENERCON Windenergieanlagen EP5 - Dokument-ID: D0827984/3.1-de,“ Aurich, 25.01.2021.
- [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. [Zugriff am 27 06 2022].
- [7] Jarass, Hans D., BImSchG-Kommentar, 10. Auflage, 2013.
- [8] geoGLIS_oHG, onmaps GEOBasis-DE / BKG / NRW, 2018.
- [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

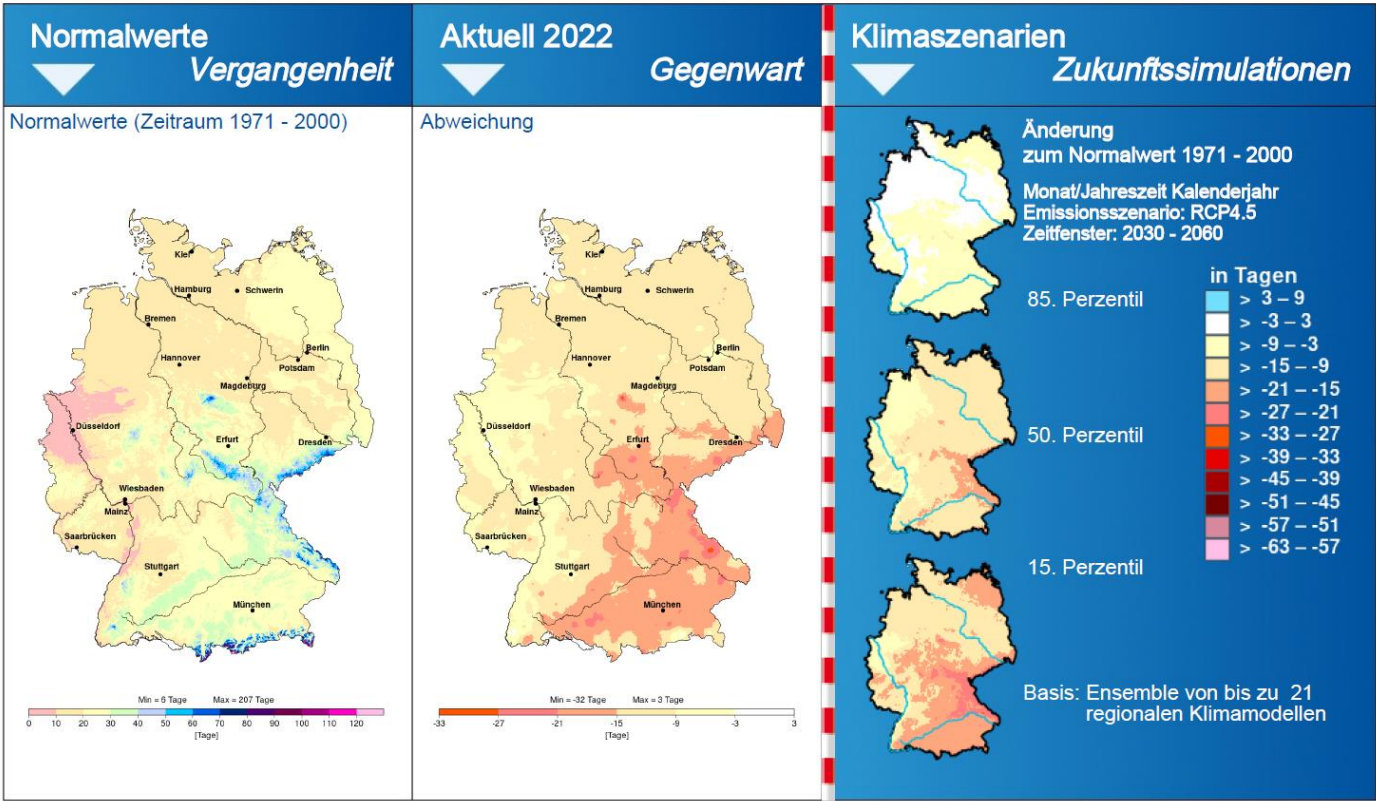
Allgemein

Deutscher Klimaatlas

Deutschland Eistage

Kalenderjahr 2022

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

Erzeugt am 19.01.2023

um 11:46 Uhr