

Eisfallgutachten für
eine Windenergieanlage
am Standort

Barkhausen-Regionalplan

(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 16.05.2024

24-1-3012-000-EBE

Auftraggeber:

Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Graf-Zeppelin-Str. 69 | 33181 Bad Wünnenberg

Auftragsnummer: 352007371

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Jeany Behrens, M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Das vorliegende Eisfallgutachten für den Standort Barkhausen-Regionalplan (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im Februar 2024 von der Energieplan Ost West 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	16.05.2024	J. Behrens	Planung von eine Windenergieanlagen des Typs Vestas V162-7.2

Kassel, 16.05.2024



Jeany Behrens, M.Sc.
(Bearbeiter)



Christoph Naab, M.Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

1	Aufgabenstellung	4
2	Grundlagen	5
	2.1 Windenergieanlagen	5
	2.2 Automatische Eisabschaltung	5
	2.3 Vereisungspotential	7
	2.4 Windrichtungsverteilung	8
	2.5 Rechtlicher Rahmen	10
3	Gefährdungsbereiche	13
4	Risikoanalyse	19
	4.1 Grundlagen der Risikoermittlung	19
	4.2 Grundlagen Bewertung des Risikos	20
	4.3 Risikoanalyse am Standort Barkhausen-Regionalplan	21
5	Literaturverzeichnis	24
6	Anhang	25

1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant am Standort Barkhausen-Regionalplan zwischen den Orten Büren im Nordwesten und Hegensdorf und Leiberg im Osten eine Windenergieanlage (WEA) des Typs Vestas V162-7.2 mit 169 m Nabenhöhe zu errichten. Vor Ort bestehen bereits WEA bzw. befinden sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium, die als Vorbelastung betrachtet 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 Windenergieanlage 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.

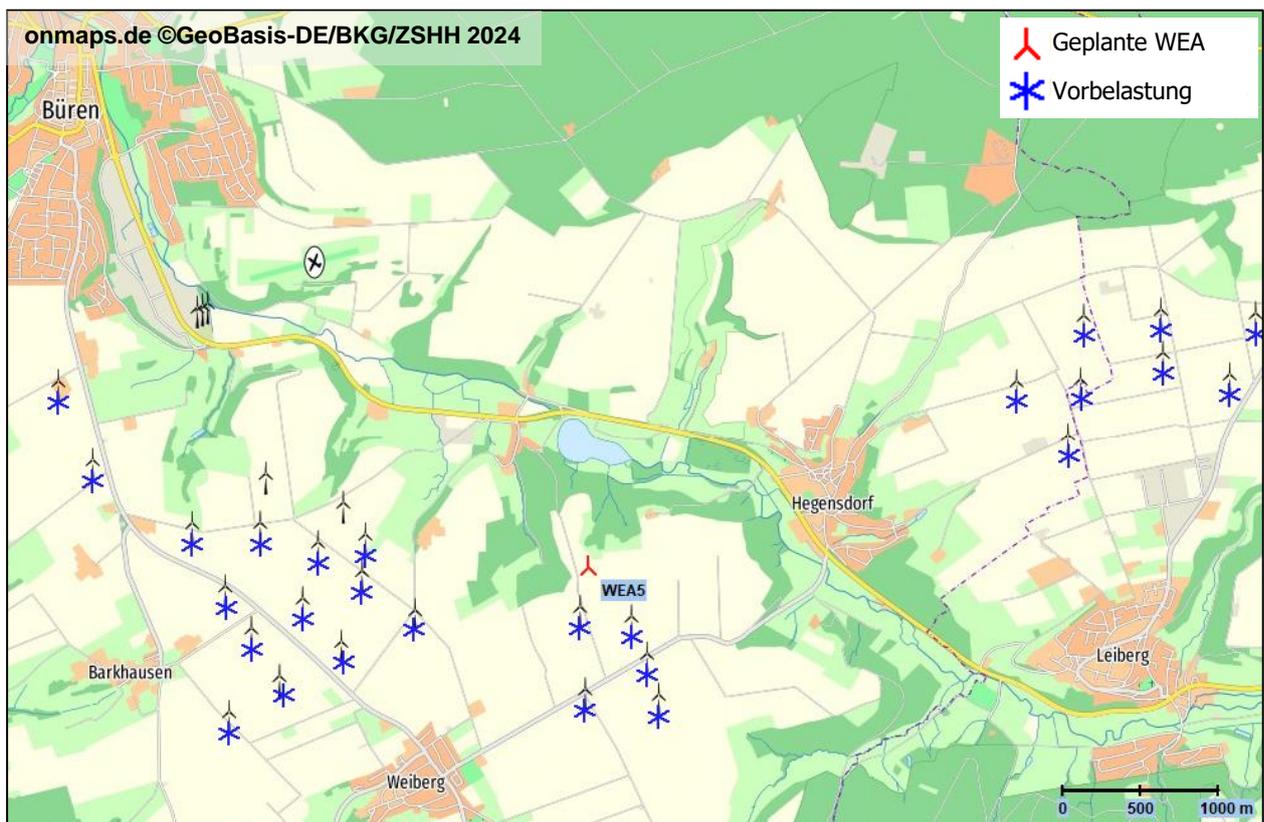


Abbildung 1: Übersichtskarte

2 Grundlagen

2.1 Windenergieanlagen

Am Standort Barkhausen-Regionalplan ist eine Windenergieanlage des Typs Vestas V162-7.2 geplant. In der Umgebung des geplanten Standortes bestehen bereits weitere WEA. Die beiden nächstgelegenen WEA VB 05 und VB06 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- durchmes- ser [m]	Gesamt- höhe [m]	UTM 32, ETRS89		Art ^{*)}
					Ost	Nord	
WEA 5	Vestas V162-7.2	169	162	250	472.737	5.708.297	ZB
VB05	Enercon E-82 E2	138,4	82	179,4	472.680	5.707.910	VB
VB06	Enercon E-82 E2	138,4	82	179,4	473.009	5.707.847	VB

*) 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.
- Eiserkennung durch einen Eissensor:
Mittels eines auf der Gondel platzierten Sensors und eines im Innern der Gondel befindlichen Steuerungskastens wird fortlaufend in einem speziellen Sensordraht die Stärke eines Ultraschallsignals bestimmt. Bei einer Verringerung der Amplitude des Ultraschallsignals infolge von Vereisung wird die WEA automatisch gestoppt.

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 [1] [2]. 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

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.

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.

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) [3] 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 auf wie viele Tage mit Vereisungsbedingungen (Eistage) meteorologisch im Jahr am Standort Barkhausen-Regionalplan durchschnittlich vorkommen können und dient der Überprüfung der

⁴ Vgl. Windenergie-Erlass NRW

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 [4]. In Szenario 1 wird dieses Kriterium unter Zuhilfenahme des ERA-5-Datensatzes angewandt. Für die Referenzperiode 1999 bis einschließlich 2023 ergeben sich durchschnittlich 27,6 Eistage pro Jahr, was einer Häufigkeit von ca. 7,6 % entspricht. Eine Analyse des Deutschen Wetterdienstes stützt diese Ergebnisse, in der 10 bis 30 Eistage für die Referenzperiode 1971 bis 2000 berechnet worden sind [5]. 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 Barkhausen-Regionalplan 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 $RF \geq 95 \%$ 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 $\geq 95 \%$ 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 Barkhausen-Regionalplan ergibt im Durchschnitt 5,6 Vereisungstage pro Jahr. Die jährliche Vereisungshäufigkeit entspricht somit etwa 1,5 %. 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 $RF \geq 95 \%$ (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 Westnordwest (33,1 %) und West (29,2 %). Hier treten auch die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten mit bis zu 12,7 m/s auf (vgl. Tabelle 2).

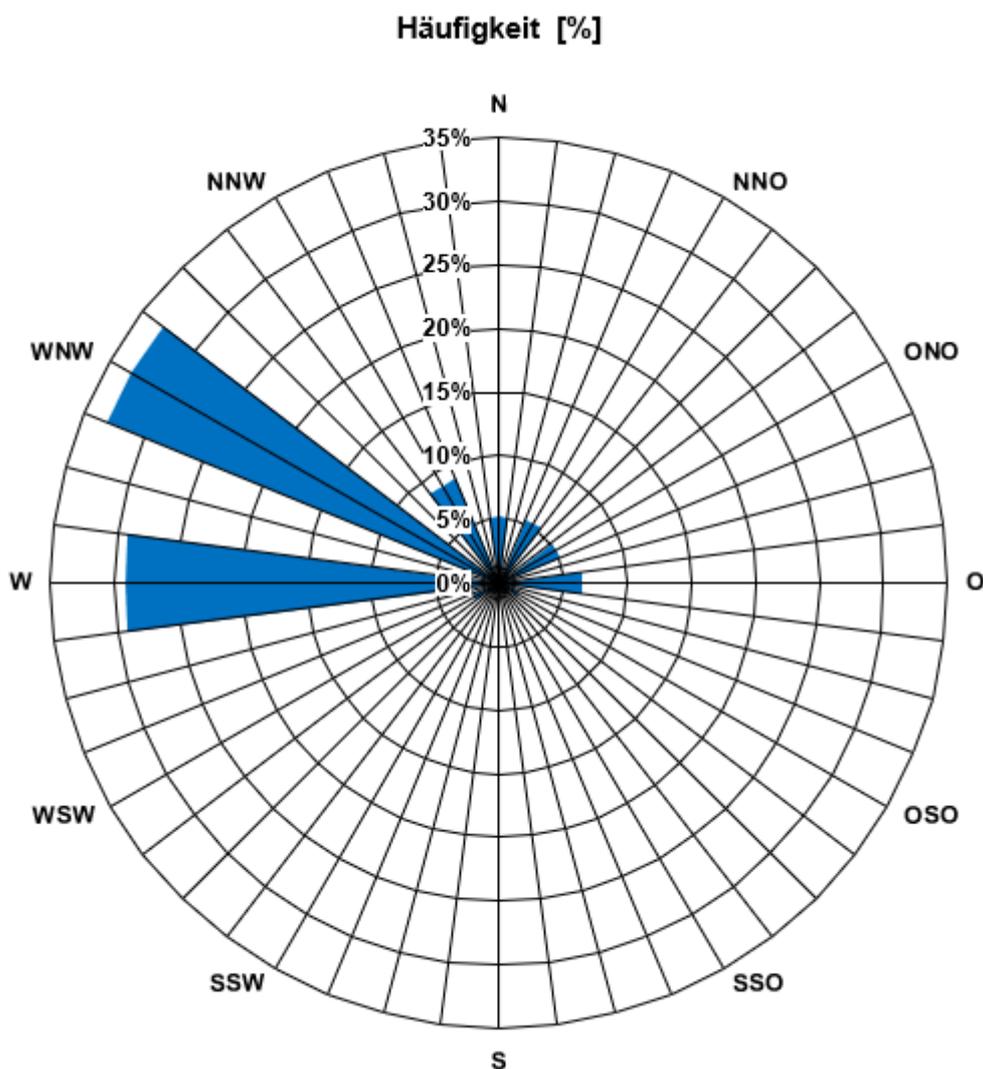


Abbildung 2: Windrose der gefilterten Daten in 200 m Höhe nach Szenario 2 für die Jahre 1999 bis einschließlich 2023 am Standort Barkhausen-Regionalplan

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 Barkhausen-Regionalplan

Windrichtungssektor	Häufigkeit [%]	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]
N	5,2	6,0
NNO	5,4	6,1
ONO	5,1	6,5
O	6,5	6,5
OSO	1,7	4,2
SSO	1,0	4,3
S	0,9	6,3
SSW	0,7	2,6
WSW	2,2	10,7
W	29,2	12,7
WNW	33,1	12,4
NNW	8,9	7,4

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 [6]. 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 Missstände 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 [6].

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 Eiswurf anzunehmen und im Einzelfall zu bewerten. Bei installierten Eiserkennungs- bzw. Eissensoren und entsprechender Abschaltung der Anlage besteht i.d.R. eine Gefährdung durch Eiswurf 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 A 11186/08 = 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 Produktion 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

Laut Runderlass des Ministeriums für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr vom 04.02.2015 [7] ist eine Untersuchung zum Risiko durch Eisfall der geplanten WEA dann vorzulegen, sofern der 1,5-fache Abstand der Summe aus Rotordurchmesser und Nabhöhe zu Verkehrswegen unterschritten wird. Dies entspricht im Falle der vorliegenden Planung einem Abstand von ca. 496,5 m (vgl. roter Kreise in Abbildung 3) zu den in der Nähe der geplanten WEA verlaufenden Verkehrswegen, der ‚Landstraße 549‘ und der ‚Kreisstraße 34‘. Für die geplante WEA wird dieser Abstand unterschritten, so dass für diese nachfolgend das Risiko des Eisfalls untersucht wird.

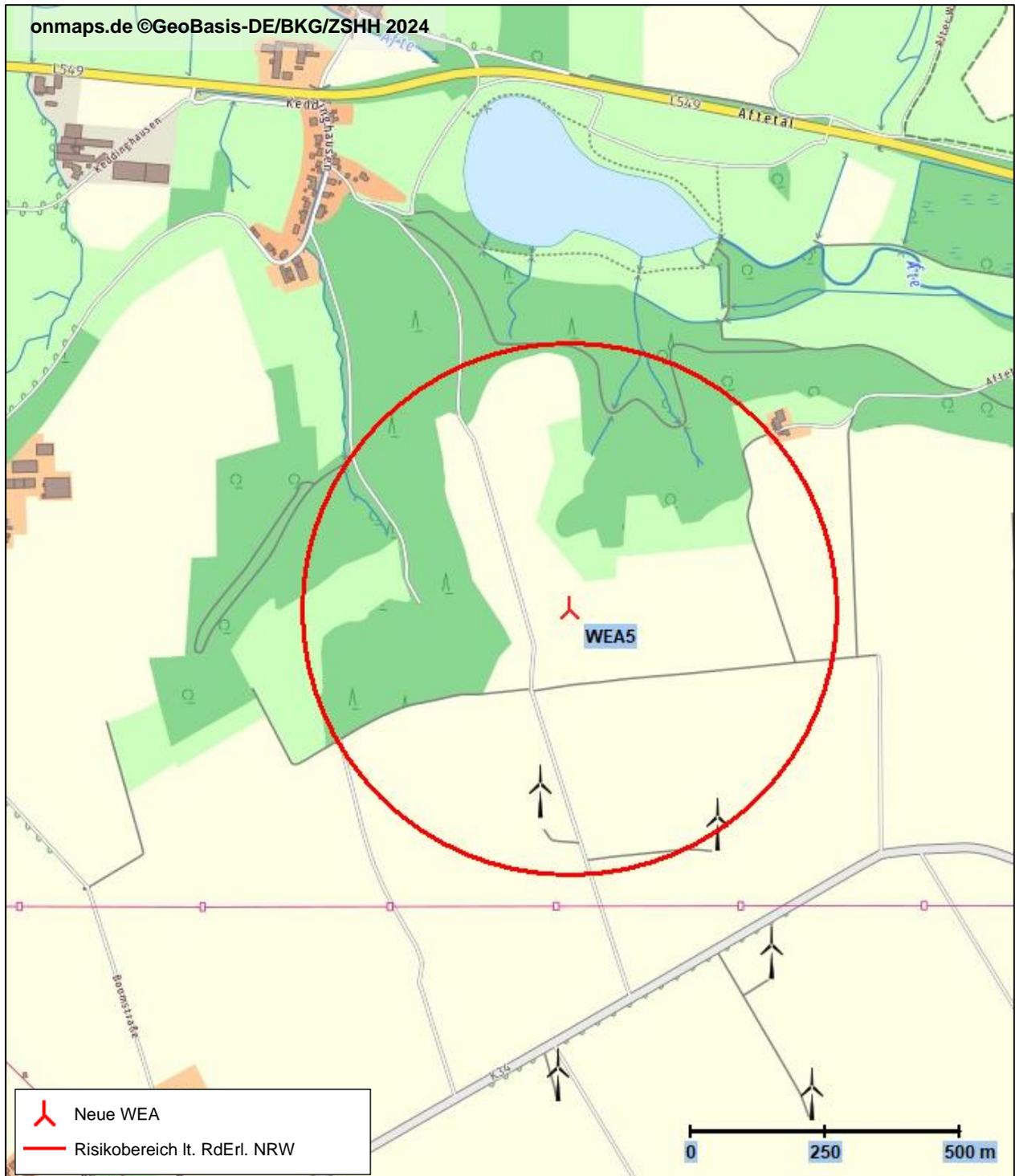


Abbildung 3: Risikobereich nach RdErl. NRW

Um das Risiko des Eisfalles zu minimieren und die Mechanik der WEA nicht zu beschädigen, wird vorausgesetzt, dass sich die geplante WEA vom Typ Vestas V162-7.2 bei Eisansatz

automatisch abschaltet und in den Trudelbetrieb übergeht. 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 22 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 vier 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)	16-22 (RZ 4)
Maximale Fallweite WEA 5 [m]	113	147	227	355
Maximale Fallweite VB05 [m]	64	94	139	211
Maximale Fallweite VB06 [m]	63	94	138	209

Die folgende Abbildung 4 zeigt die maximale Abfallweite für jede der vier Risikozonen am Standort Barkhausen-Regionalplan.

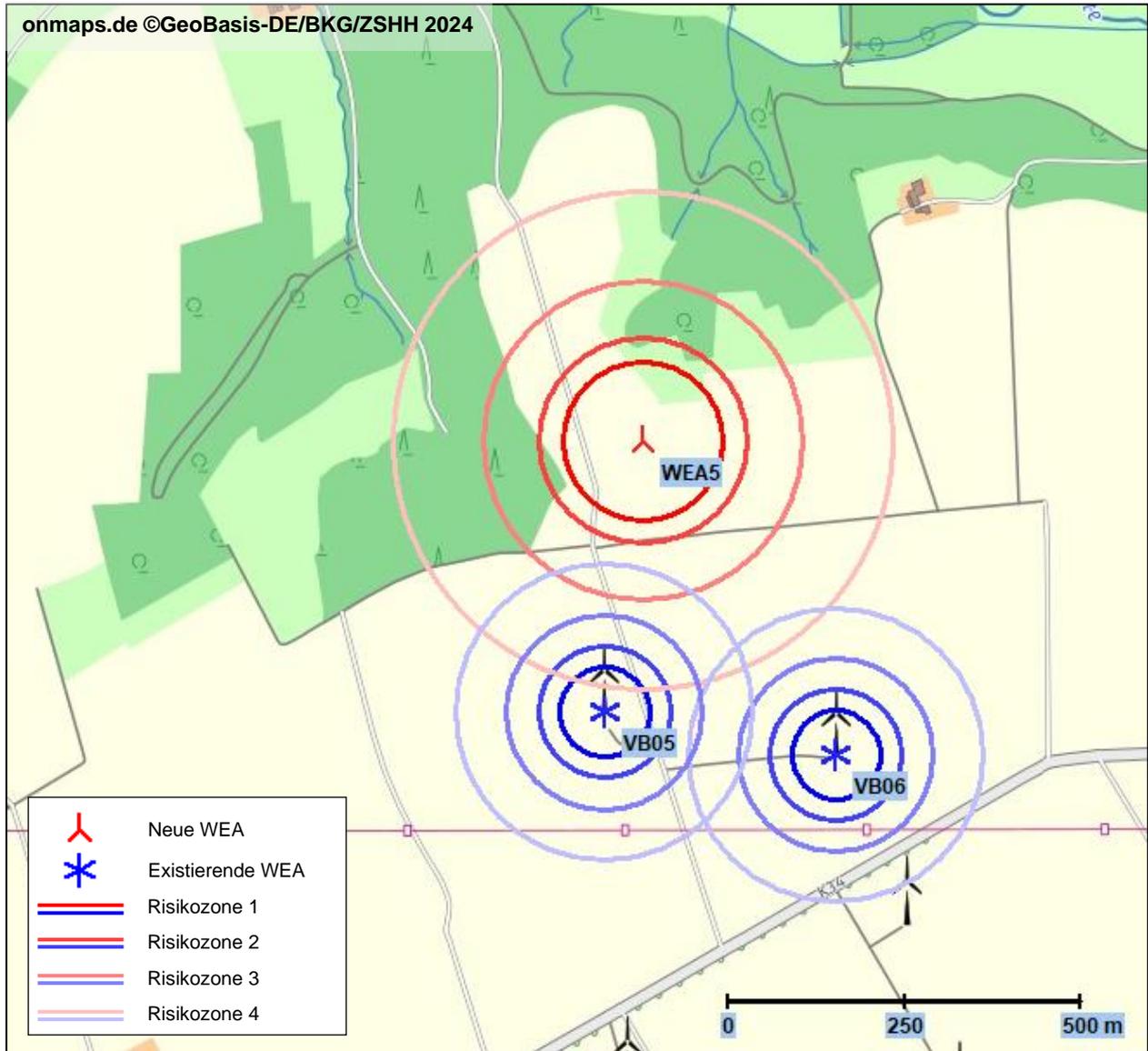


Abbildung 4: Risikozonen

Für die Risikobewertung des Eisfalls am Standort Barkhausen-Regionalplan wurden die in der Umgebung des Standorts liegenden Gefährdungsbereiche auf Basis einer detaillierten ATKIS-Karte und einer Standortbesichtigung am 30.04.2024 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 vier Risikozonen sind in der Abbildung 5 durch farbige Linien hervorgehoben.

Die WEA5 und VB06 weisen im Überschneidungsbereich der Risikozonen keinen Gefährdungsbereich auf (siehe Abbildung 5), daher wird die VB06 nicht weiter als Vorbelastungs-WEA betrachtet.

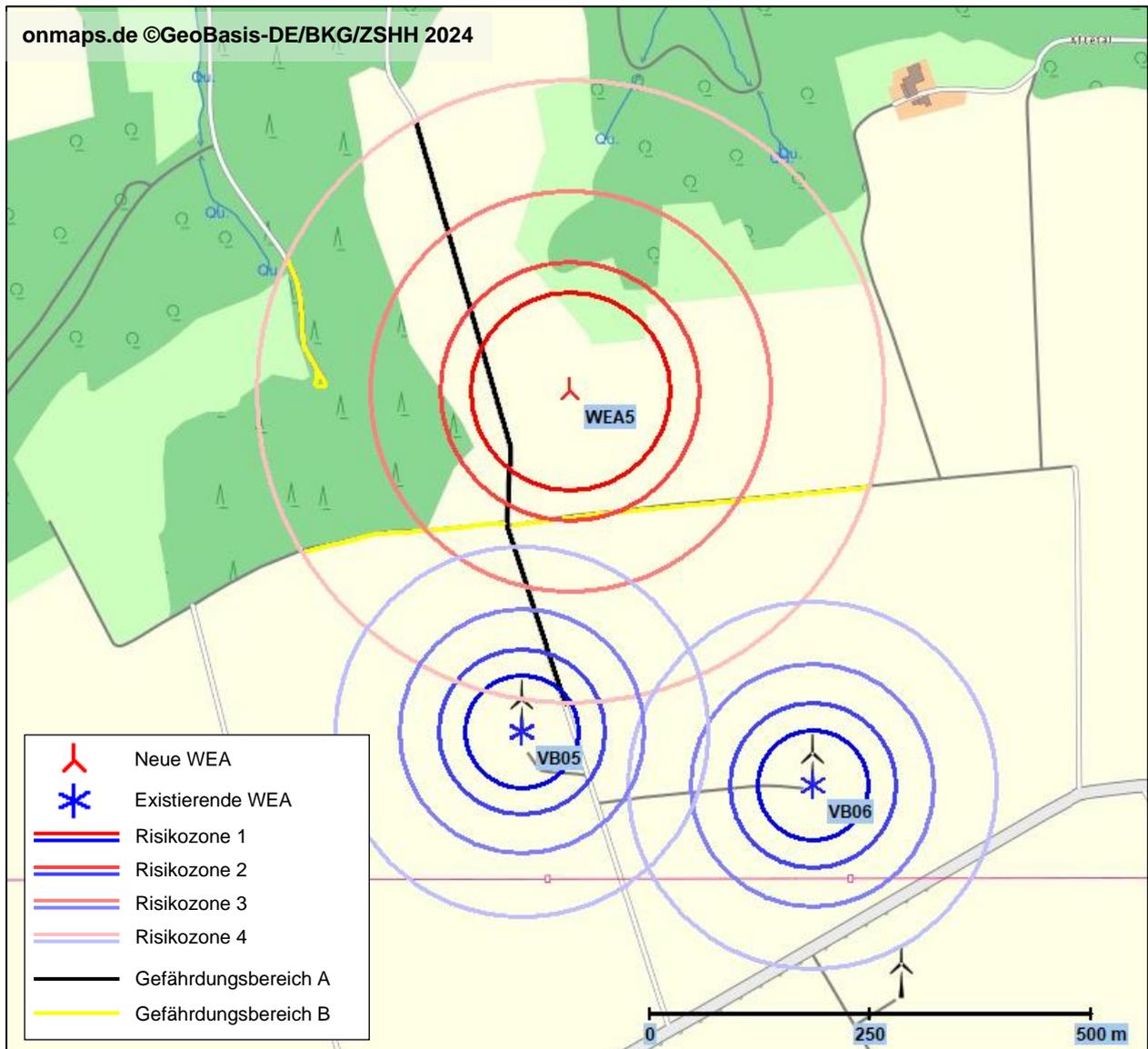


Abbildung 5: WEA5 mit VB05 und VB06

Bei Gefährdungsbereich A handelt es sich um einen Wirtschaftsweg. Dieser wird von Fußgängern und Radfahrern (Gefährdungsgruppe P) sowie 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 Personen wird eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 3 km/h und für die Kfz eine von 20 km/h herangezogen.

Bei Gefährdungsbereich B 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 Personen 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	Wirtschaftsweg	25	3 km/h
	K		10	20 km/h
B	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 6 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 WEA5

GB	RZ 1	RZ 2	RZ 3	RZ 4
A	alle	NNO, OSO	N, NNO, OSO, SSO	N, SSO
B	-	N, NNW	N, NNO, ONO, WNW, NNW	NNO, ONO, O, OSO, WNW

Tabelle 6: Relevante Windrichtungen der der zum Gesamtrisiko beitragenden WEA für WEA5

WEA	GB A	GB B
VB05	alle	-

Die Gefährdungsbereiche werden entsprechend Ihrer Lage einer Risikozone zugeordnet, für die in Kapitel 4 eine Risikobewertung auf Basis der in den Tabellen 4 bis 6 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 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.

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 [8]. Die MEM beschreibt das Maß des akzeptablen Risikos, welches von der entsprechenden Technologie¹⁴ ausgeht. Die Sterblichkeitsrate beträgt $2 * 10^{-4}$ 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 [8]. 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 $1 * 10^{-3}$ Todesfällen pro Jahr [9].

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.

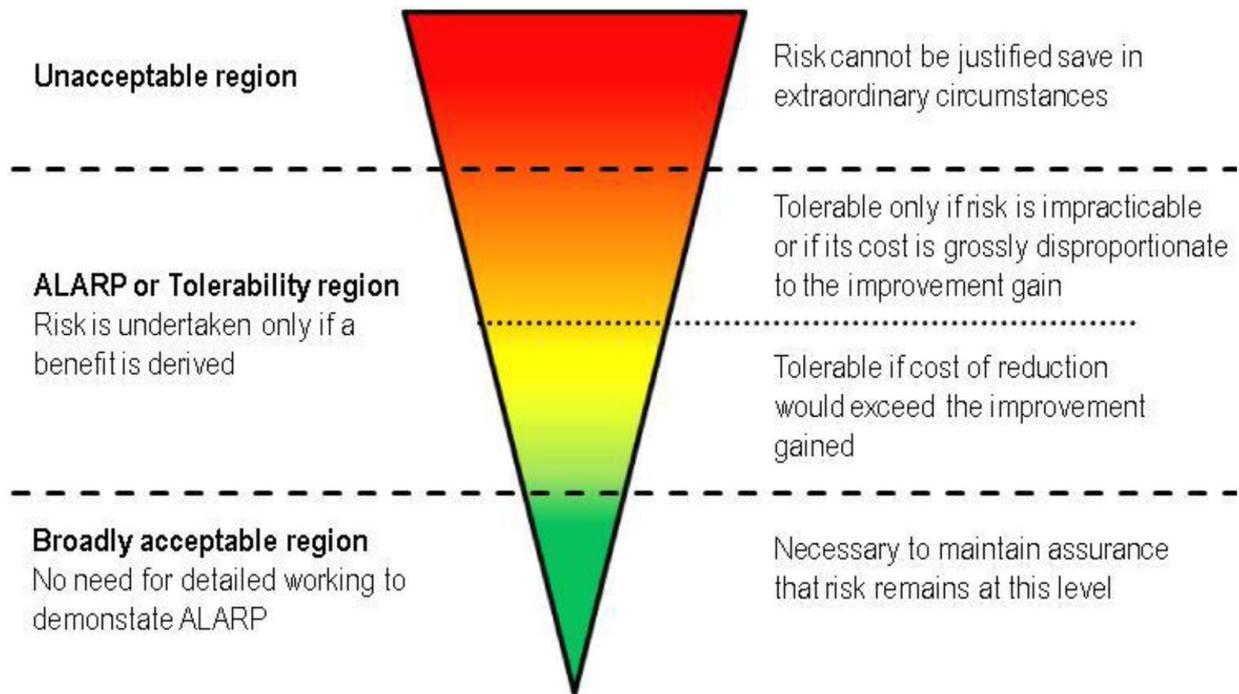


Abbildung 6: ALARP-Prinzip [9]

Daraus ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten Bewertungen.

Tabelle 7: Anwendung des ALARP-Prinzips [9]

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 Barkhausen-Regionalplan

Am Standort Barkhausen-Regionalplan wurde eine Berechnung des Tötungsrisikos durch Eisfall von einer geplanten Windenergieanlage des Typs Vestas V162-7.2 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 ist. So wird sichergestellt, dass sich die WEA bei Eisansatz nicht in Betrieb befindet 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 der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 8: Ergebnisse der Risikoanalyse für WEA5

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

Die Richtwerte werden für alle Gefährdungsbereiche um mindestens den Faktor 139 unterschritten. Nach dem ALARP-Prinzip sind im Bereich von WEA5 keine risikoreduzierenden Maßnahmen

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

erforderlich. Mit einfachen Maßnahmen wie dem Aufstellen von Warnhinweisen im Bereich der Risikozonen kann jedoch eine weitere Risikominimierung erreicht werden

Somit sind potenzielle Gefahren für den Menschen durch Eisfall ausgehend von den geplanten WEA am Standort Barkhausen-Regionalplan als akzeptables Restrisiko einzustufen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Reihe B, Heft 8, 2012.
- [2] Liste der Technischen Baubestimmungen (LTB) des Landes Baden-Württemberg, 14.11.2014.
- [3] „European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF),“ [Online]. Available: <http://www.ecmwf.int/>.
- [4] 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].
- [5] Deutscher Wetterdienst (DWD), „Deutscher Klimaatlas,“ [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html. [Zugriff am 29 02 2024].
- [6] Jarass, Hans D., BImSchG-Kommentar, 10. Auflage, 2013.
- [7] Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, „Änderung des Runderlasses Einführung Technischer Baubestimmungen nach § 3 (Anlage 2.7/12, Abschnitt 2),“ Düsseldorf, 04.02.2015.
- [8] R. Breuer, Anlagensicherheit und Störfälle Vergleichende Risikobewertung im Atom- und Immissionsschutzrecht, Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 1990, p. 211.
- [9] IEA Wind TCP Task 19, *International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments*, April 2022.

6 Anhang

- Deutscher Klimaatlas

Allgemein

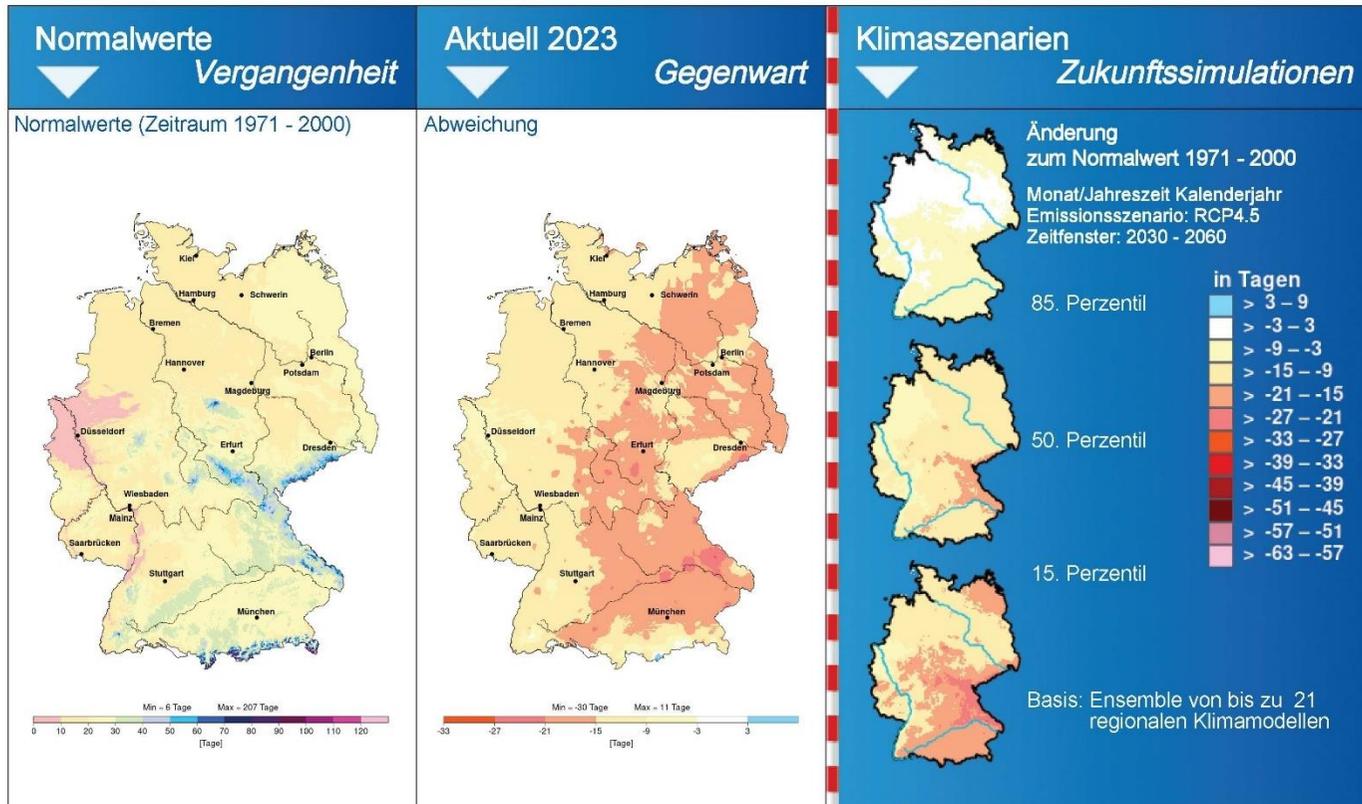


Deutscher Klimaatlas

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

Erzeugt am 29.02.2024

um 17:43 Uhr