Gutachten zum Eiswurf und Eisfall an Windenergieanlagen

im Windpark Buke-Süd

Deutschland

Bericht-Nr.: I17-EW-2025-152 Rev.01

I17-Wind GmbH & Co. KG --- Robert-Koch-Straße 29 --- 25813 Husum

Gutachten zum Eiswurf und Eisfall an Windenergieanlagen

im Windpark Buke-Süd

Bericht-Nr.: I17-EW-2025-152 Rev.01

Auftraggeber:

Energieplan Ost West GmbH & Co. KG
Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Occare Ventus Verwaltungs GmbH
Am Eichenkamp 15
33184 Altenbeken

Buker Windkraft GmbH & Co. KG
Vattmannstr. 3
33100 Paderborn

SoLa Energiepartner GmbH
Vattmannstr. 3
33100 Paderborn

Egge Energie Verwaltungs GmbH
Renker Weg 1
33175 Bad Lippspringe

Windenergie Keimberg GbR
Vattmannstr. 3
33100 Paderborn

Stelte-SoLa GbR
Vattmannstr. 3
33100 Paderborn

Brockmann Wind GmbH & Co. KG Altenbeken
Eggering 66
33184 Altenbeken

Ventus at Via GmbH & Co. KG
Eggering 66
33184 Altenbeken

Auftragnehmer:

I17-Wind GmbH & Co. KG
Robert-Koch-Straße 29
D-25813 Husum
Tel.: 04841-87596-0
E-Mail: mail@i17-wind.de
Internet: www.i17-wind.de

Datum: 05.02.2026

Haftungsausschluss und Urheberrecht

Das vorliegende Gutachten wurde unabhängig, unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen nach derzeitigem Stand der Technik erstellt. Für vom Auftraggeber und vom Anlagenhersteller bereitgestellte Daten, die nicht von der I17-Wind GmbH & Co. KG erhoben oder ermittelt wurden, kann keine Gewähr für deren Korrektheit übernommen werden. Diese werden als richtig vorausgesetzt.

Urheber des vorliegenden Gutachtens zum Eiswurf und Eisfall an Windenergieanlagen (WEA) ist die I17-Wind GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erhält nach § 31 Urheberrechtsgesetz das einfache Nutzungsrecht, welches nur durch Zustimmung des Urhebers übertragen werden kann. Eine Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien ist ohne gesonderte Zustimmung des Urhebers nicht gestattet.

Anmerkung zu Anlagenparametern der WEA

Die zitierten Dokumente entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Eine Änderung der angenommenen Werte ist den Anlagenherstellern vorbehalten. Modellbedingt kann keine Gewährleistung auf nachträglich geänderte Ergebnisse hinsichtlich der untersuchten WEA bzw. Schutzobjekte gegeben werden. Bei einer Änderung der Anlagenparameter gegenüber dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung verliert das vorliegende Gutachten seine Gültigkeit.

Revisionsnummer	Datum	Änderung	Verfasser
0	19.09.2025	Erste Ausgabe	Ewert
1	05.02.2026	Angepasste Koordinaten und erweiterte Vorbelastung	Ewert

Verfasser:

B. Sc. Daniel Ewert, Sachverständiger

Husum, 05.02.2026

Geprüft:

M. Ed. Florian Clausen, Sachverständiger

Husum, 10.02.2026

Freigegeben:

B. Sc. Daniel Ewert, Sachverständiger

Husum, 10.02.2026

Dieses Dokument wurde digital signiert und die Integrität des Dokuments wurde überprüft. Das zugehörige Zertifikat kann von der I17-Wind GmbH & Co. KG auf Anfrage gerne zur Verfügung gestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbemerkung ... 8
1.1 Allgemeines ... 8
1.2 Geführte Nachweise ... 8
2 Aufgabenstellung und Standort ... 9
2.1 Windparklayout ... 9
2.2 Zu Grunde gelegte Windverhältnisse ... 19
3 Standortanalyse ... 21
3.1 Vereisungspotenzial ... 21
3.2 Eiswurf und Eisfall ... 22
3.3 Eiserkennungssysteme ... 22
3.4 Berechnung der Flugbahnen ... 24
3.4.1 Simulation der Flugbahnen ... 24
3.4.2 Randbedingungen ... 25
3.5 Ermittlung der zu untersuchenden Gefährdungszonen ... 26
4 Gültigkeit der Ergebnisse ... 31
5 Einordnung der Schutzobjekte ... 32
5.1 Expositionszeiten ... 32
5.2 Wirkungsbereich der einfallenden Eisstücke ... 34
6 Risikobewertungskriterien ... 35
6.1 MEM-Prinzip ... 35
6.2 Festlegen der Grenzwerte für das Individualrisiko ... 35
6.3 Festlegen der Grenzwerte für das Kollektivrisiko ... 36
6.4 ALARP-Prinzip ... 36
6.5 Zusammenfassung der Grenzwerte für die Risikoanalyse ... 37
6.6 Risikomindernde Maßnahmen ... 37
7 Darstellung der Ergebnisse ... 39
7.1 Kumulierung von Risiken ... 39
7.2 Trefferhäufigkeiten und relevante WEA zur Risikobewertung ... 40
7.3 Ergebnisse Risikobewertung ... 47
7.4 Detaillierte Darstellung risikomindernde Maßnahmen ... 51
7.4.1 Detaillierte Darstellung risikomindernde Maßnahmen hinsichtlich Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall ... 52
8 Zusammenfassung ... 55
8.1 Bewertungsprozess ... 55
8.2 Abschließende Bewertung der Schutzobjekte ... 58

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis 60
Literaturverzeichnis 61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Übersicht); Kartenmaterial: [3.1, 3.2] 17
Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detail); Kartenmaterial: [3.1, 3.2] 18
Abbildung 3.1 :Zu untersuchende Gefährdungszonen – Übersicht [3.1, 3.3] 27
Abbildung 3.2 :Zu untersuchende Gefährdungszonen – Detailansicht Nord [3.1, 3.3] 28
Abbildung 3.3 :Zu untersuchende Gefährdungszonen – Detailansicht Süd [3.1, 3.3] 29
Abbildung 6.1: Übersicht der definierten Risikoakzeptanzbereiche nach dem ALARP-Prinzip [12] 36
Abbildung 7.1: Berechnete Trefferhäufigkeiten [3.1, 3.3] 40
Abbildung 7.2: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W18 und W19 52
Abbildung 7.3: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W17 53
Abbildung 7.4: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W21 53
Abbildung 7.5: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W15 54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration [20.1] 10
Tabelle 2.2: Windverhältnisse am Standort WV 1/1 [20.2] 19
Tabelle 2.3: Windverhältnisse am Standort WV 2/1 [20.3] 20
Tabelle 2.4: Windverhältnisse am Standort WV 3/1 [20.4] 20
Tabelle 3.1: Zugrunde gelegte Vereisungstage am Standort 21
Tabelle 3.2: Anzahl der betrachteten Eisstücke am Standort pro Jahr 22
Tabelle 3.3: Zu untersuchende Schutzobjekte 30
Tabelle 5.1: Nutzungskategorien von Wegen 32
Tabelle 5.2: Nutzungshäufigkeiten der Schutzobjekte 33
Tabelle 6.1: Risikogrenzwerte in Anlehnung an das ALARP-Prinzip 37
Tabelle 6.2: Maßnahmen zu Risikominderung 37
Tabelle 6.3: Weiterführende Maßnahmen zur Risikoreduzierung 38
Tabelle 7.1: Relevante WEA an den Schutzobjekten 41
Tabelle 7.2: Darstellung der Ergebnisse für die Schutzobjekte 48
Tabelle 7.3: Ergebnisse maximale Flugweite 50
Tabelle 7.4: Risikomindernde Maßnahmen 51
Tabelle 7.5: Risikomindernde Maßnahmen 51
Tabelle 8.1: Zusammenfassung der Ergebnisse 59

1 Vorbemerkung

1.1 Allgemeines

Vereisung von Rotorblättern ist ein für die Planung und den Betrieb von Windenergieanlagen zu berücksichtigender Aspekt. Im vorliegenden Gutachten werden die Risiken des sich lösenden Eisansatzes an den untersuchten WEA in Bezug auf die Gefährdung von Personen in deren Umgebung evaluiert. Da es in ganz Deutschland zu winterlichen Witterungsverhältnissen kommen kann, ist eine Bewertung des Gefährdungspotenzials durch neu geplante WEA sinnvoll [14].

Verkehrsteilnehmer können durch herabfallende oder von der WEA weggeschleuderte Eisstücke gefährdet werden. Daher ist es notwendig, Verkehrswege und Räume, in denen sich Personen potenziell aufhalten können, auf das Gefährdungspotenzial durch Eiswurf oder Eisfall zu untersuchen. Aufgrund von Unsicherheiten bei der Beschreibung von Wetterbedingungen wird jedes Wetterereignis, das eine Vereisung der Rotorblätter zulässt, als Vereisungsereignis betrachtet.

Im Rahmen der IEA Wind TCP Task 19 [1] wurden international anwendbare Empfehlungen für die Berechnung und Risikobewertung von Eiswurf und Eisfall von WEA erarbeitet. In dem vorliegenden Gutachten wurden diese Empfehlungen für die Berechnungen und anschließende Risikobewertung zu Grunde gelegt. Da die Empfehlungen in [1] einen allgemeinen Charakter haben, wird sich vorbehalten, im Rahmen der Gutachtenerstellung von diesen Empfehlungen abzuweichen, sofern es die Standortbedingungen erlauben bzw. erfordern. Zu diesem Vorgehen wird in [1] angeregt, um regionale Besonderheiten berücksichtigen zu können. Sofern von dem in [1] dargestellten Vorgehen abgewichen wird, wird diese Abweichung im Folgenden begründet.

In den Empfehlungen der IEA Wind TCP Task 19 [1] sowie in der Muster-Liste der technischen Baubestimmungen [14] wird ein notwendiger Mindestabstand definiert, welcher 1.5 × (RD + NH) zu Gebäuden und Verkehrswegen zu betragen hat, um einen sicheren Betrieb der WEA zu gewährleisten. Bei einer Unterschreitung dieses Abstands ist ein Gutachten eines Sachverständigen erforderlich, um die Risiken bezüglich Eiswurf bzw. Eisfall von WEA zu bewerten [14].

1.2 Geführte Nachweise

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) § 5 Abs. 1 Nr. 1 & 2 sind „genehmigungsbedürftige Anlagen […] so zu errichten und zu betreiben, dass [..] ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt“ gewährleistet ist. Das bedeutet, dass „schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft“ vermieden werden müssen. Es müssen, falls erforderlich, auch Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, um solche Umwelteinwirkungen und Gefahren zu verhindern.

Somit ist es unerlässlich, im Rahmen des Genehmigungsprozesses für den geplanten Betrieb einer WEA einen Nachweis über das Gefährdungspotenzial hinsichtlich Eiswurf und Eisfall zu erbringen. Falls erforderlich, müssen Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, um die Gefährdung von Personen, die sich im Umfeld der WEA aufhalten können, zu minimieren.

2 Aufgabenstellung und Standort

Die I17-Wind GmbH & Co. KG wurde damit beauftragt, ein Gutachten zum Eiswurf und Eisfall von WEA unter Berücksichtigung der in Tabelle 2.1 aufgeführten und in Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2 dargestellten WEA zu erstellen. Der Auftraggeber plant die Errichtung von 18 WEA des Typs Enercon E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW auf 166.6 m Nabenhöhe, einer WEA des Typs Enercon E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW auf 119.8 m Nabenhöhe, zwei WEA des Typ Enercon E-175 EP5 E2 / 7000 kW auf 174.5 m Nabenhöhe, einer WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2 / 7000 kW auf 111.6 m Nabenhöhe sowie einer WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW auf 199.0 m Nabenhöhe am Standort Buke in Nordrhein-Westfalen.

Untersucht wird das durch den Betrieb der WEA W1 – W23 entstehende Risiko auf die umliegenden Verkehrs-, Wald- und Feldwege sowie Flächen, auf denen sich potenziell Personen aufhalten oder am Straßenverkehr teilnehmen können. Sofern Schutzobjekte, welche im Rahmen der Risikobewertung untersucht werden, durch weitere neu geplante oder Bestands-WEA einem Risiko ausgesetzt sind, werden diese WEA in der Risikobewertung berücksichtigt.

Im vorliegenden Gutachten werden zusätzlich die WEA W76, W79, W82, W83, W84, W86, W87, W88, W89, W90, W92, W93, W94 und W176 für die Bewertung der zu untersuchenden Schutzobjekte berücksichtigt.

Wenn über den Betriebsmodus keine Informationen in den Eingangsdaten vorliegen, wird stets der Betriebsmodus für die Berechnungen herangezogen, der die konservativsten Ergebnisse liefert, was dem offenen, nicht leistungsreduzierten Betriebsmodus entspricht.

Im vorliegenden Gutachten beziehen sich alle WEA-Bezeichnungen auf die interne, laufende W-Nummer.

2.1 Windparklayout

In der folgenden Tabelle 2.1 wird die vom Kunden in [20.1] übermittelte, zu untersuchende Windparkkonfiguration dargestellt.

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration [20.1]

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W1	W1	Neu	493100	5732332	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W2	W2	Neu	493352	5732662	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W3	W3	Neu	493749	5732867	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W4	W4	Neu	493861	5733221	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W5	W5	Neu	494151	5732980	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W6	W6	Neu	494367	5732550	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W7	W7	Neu	493985	5732578	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W8	W8	Neu	493966	5732198	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W9	W9	Neu	493672	5731969	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W10	W10	Neu	494524	5732886	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W11	W11	Neu	495423	5731760	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	111.6	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 3/1
W12	W12	Neu	494950	5732964	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W13	W13	Neu	495780	5733205	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 1/1
W14	W14	Neu	495707	5731406	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 2/1
W15	W15	Neu	494477	5731964	Vestas	V172-7.2 MW	199.0	172.0	Trudelbetrieb	0.0	7200	WV 2/1
W16	W16	Neu	494705	5731738	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W17	W17	Neu	494954	5732555	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W18	W18	Neu	495430	5732653	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 3/1
W19	W19	Neu	495321	5733228	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W20	W23	Neu	495228	5731211	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W21	W25	Neu	494850	5731025	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W22	W28	Neu	494633	5730658	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W23	W20	Neu	494203	5733437	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W25	41213-25 (WEA01)	Bestand	490337	5731455	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W28	41213-25 (WEA02)	Bestand	490678	5731353	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W29	40169-24 (WEA 01)	Bestand	490821	5734485	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-
W30	40173-24 (WEA 04)	Bestand	491023	5734115	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W31	40340-25 (WEA 4)	Bestand	491195	5730193	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	130.6	138.3	-	0.0	4260	-
W32	40340-25 (WEA 3)	Bestand	491220	5730806	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	130.6	138.3	-	0.0	4260	-
W33	40170-24 (WEA 02)	Bestand	491225	5734538	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-
W35	40175-24 (WEA 05)	Bestand	491446	5734128	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W36	40605-15, 41706-19	Bestand	491492	5729995	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W37	01484-10-14	Bestand	491592	5731929	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W38	40795-16, 41974-18	Bestand	491610	5731451	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W39	40171-24 (WEA 03)	Bestand	491631	5734485	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-
W40	02034-10-14	Bestand	491661	5731685	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W41	40352-21	Bestand	491745	5731119	Enercon	E-53 / 800 kW	73.3	52.9	-	0.0	800	-
W42	40339-25 (WEA 2)	Bestand	491749	5730699	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W43	40796-16	Bestand	491788	5731282	Enercon	E-53 / 800 kW	73.3	52.9	-	0.0	800	-
W44	00961-12-14	Bestand	491874	5731031	Vestas	V90-2.0 MW GS	80.0	90.0	-	0.0	2000	-
W45	42338-14, 2175-08	Bestand	491950	5731519	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W46	1834-08-14	Bestand	492065	5730932	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	-	0.0	2300	-
W47	51.0078/06/0106.2	Bestand	492073	5730578	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	85.0	71.0	-	0.0	2000	-
W48	2535-09-14	Bestand	492117	5731271	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W49	41517-24, 42298-23, 40829-22	Bestand	492133	5729613	Nordex	N149/5500	104.7	149.1	-	0.0	5500	-
W50	42613-14, 41973-18	Bestand	492148	5730417	Enercon	E-115 / 3.000 kW	149.1	115.7	-	0.0	3000	-
W51	2558-10, 1607-12	Bestand	492207	5730767	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	-	0.0	2300	-
W52	41374-24	Bestand	492240	5729896	Enercon	E-82 / 2.000 kW	84.6	82.0	-	0.0	2000	-
W53	40310-21	Bestand	492298	5729326	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	130.1	138.3	-	0.0	4200	-
W54	02035-10-14 (1)	Bestand	492325	5731687	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W55	2696-09-14	Bestand	492347	5731185	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W56	40337-25 (WEA 1)	Bestand	492454	5730546	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W57	02035-10-14 (2)	Bestand	492474	5731491	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W58	40751-16	Bestand	492475	5730245	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W59	51.0126/07/0106.2	Bestand	492489	5730979	Enercon	E-82 / 2.000 kW	108.4	82.0	-	0.0	2000	-
W60	40715-17	Bestand	492503	5730738	Enercon	E-53 / 800 kW	73.3	52.9	-	0.0	800	-
W61	40497-19, 41371-20	Bestand	492559	5731273	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W62	41960-24 (WEA 1)	Bestand	492633	5729417	Vestas	V150-6.0 MW	125.0	150.0	-	0.0	6000	-
W63	40584-25, 41449-24, 41473-23, 41547-23	Bestand	492650	5728729	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	-	0.0	4200	-
W64	2049-09-14	Bestand	492750	5730778	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W65	40353-16,42370-15(V)	Bestand	492760	5730271	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W66	41275-25 (WEA Böd)	Bestand	492810	5729060	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W67	00223-10-14	Bestand	492887	5730530	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W68	42051-24	Bestand	492892	5729206	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	-	0.0	4260	-
W69	41499-14	Bestand	492934	5730012	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W70	02825-12, 40443-15	Bestand	492988	5729518	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W71	41206-23	Bestand	493119	5729685	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	160.0	-	0.0	5560	-
W72	02078-10-14 (2)	Bestand	493284	5730015	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W73	41986-24, 40731-24 (WEA 5)	Bestand	493311	5730306	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-
W74	41477-23 (WEA 02)	Bestand	493386	5728145	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	-	0.0	7200	-
W76	40769-19	Bestand	493790	5730763	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 1/1
W78	41481-23 (WEA 01)	Bestand	494031	5728700	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	-	0.0	7200	-
W79	40422-20(42764-17)	Bestand	494128	5731068	Enercon	E-147 EP5 / 4.300 kW	126.3	147.0	Trudelbetrieb	0.0	4300	WV 3/1
W82	40320-23	Bestand	494235	5730367	Vestas	V162-7.2 MW	169.0	162.0	SO7200	0.0	7200	WV 1/1
W83	00560-10-14	Bestand	494394	5731443	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1
W84	42172-25, 42280-23 (WEA 02)	Bestand	494475	5731079	Nordex	N149/5700	164.0	149.1	Trudelbetrieb	0.0	5700	WV 1/1
W85	41478-23 (WEA 06)	Bestand	494539	5728001	Vestas	V162-6.2 MW	169.0	162.0	-	0.0	6200	-
W86	41129-24	Bestand	494673	5732069	Vensys	Vensys 82-1.5 MW	100.0	82.0	Mode 0	0.0	1500	WV 3/1
W87	40319-23	Bestand	494838	5731372	Vestas	V162-7.2 MW	169.0	162.0	SO7200	0.0	7200	WV 2/1
W88	00090-11-14	Bestand	494927	5732200	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W89	42281-23 (WEA 03)	Bestand	494943	5730662	Vestas	V150-6.0 MW	166.0	150.0	PO6000	0.0	6000	WV 1/1
W90	02501-12-14	Bestand	495061	5731969	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1
W91	41484-23 (WEA 12)	Bestand	495125	5727795	Vestas	V136-4.0 MW	166.0	136.0	-	0.0	4000	-
W92	02473-12, 40861-15	Bestand	495217	5732779	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1
W93	02149-13-14	Bestand	495314	5733831	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1
W94	01847-12-14	Bestand	495395	5733558	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1
W95	Q17	Bestand	490970	5730014	AN Bonus	AN 600kW / 41	50.0	41.0	-	0.0	600	-
W96	42051-19 (07)	Bestand	489305	5730579	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.3	126.7	-	0.0	4000	-
W97	41143-16	Bestand	488615	5730294	Enercon	E-126 EP4 / 4.200 kW	135.0	127.0	-	0.0	4200	-
W98	41144-16	Bestand	488210	5730451	Enercon	E-126 EP4 / 4.200 kW	135.0	127.0	-	0.0	4200	-
W99	41141-16 (01)	Bestand	488627	5730644	Enercon	E-126 EP4 / 4.200 kW	135.0	127.0	-	0.0	4200	-
W100	40853-22, 41256-19	Bestand	490540	5729234	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	-	0.0	4200	-
W101	41403-19 (01)	Bestand	490459	5728882	Enercon	E-147 EP5 / 4.300 kW	155.1	147.0	-	0.0	4300	-
W102	40812-25, 40743-24, 40273-20 (WEA 01)	Bestand	491117	5728331	Enercon	E-147 EP5 E2 / 5.000 kW	155.1	147.0	-	0.0	5000	-
W103	40819-25, 40750-24(WEA 04)	Bestand	490741	5728405	Enercon	E-147 EP5 E2 / 5.000 kW	155.1	147.0	-	0.0	5000	-
W104	40813-25, 40746-24, 40274-20 (WEA 02)	Bestand	490844	5728757	Enercon	E-147 EP5 E2 / 5.000 kW	155.1	147.0	-	0.0	5000	-
W105	40815-25, 40275-20 (WEA 03)	Bestand	491105	5729199	Enercon	E-147 EP5 E2 / 5.000 kW	155.1	147.0	-	0.0	5000	-
W106	40820-25, 42332-23 (WEA 01)	Bestand	491099	5727980	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W107	41504-22	Bestand	487747	5730591	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	164.0	160.0	-	0.0	5560	-
W108	41064-24 (WEA 4)	Bestand	492013	5729050	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W110	42174-23, 40480-23 (WEA 03)	Bestand	487197	5733476	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W111	42173-23, 40477-23 (WEA 02)	Bestand	487096	5733865	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W112	42334-23 (WEA 05)	Bestand	486596	5733882	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W113	42172-23, 40474-23 (WEA 01)	Bestand	486974	5734208	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W114	41786-24 (WEA 2)	Bestand	491526	5728185	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-
W115	41098-25, 40877-25, 42336-23 (WEA 07)	Bestand	487537	5734742	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	-	0.0	6000	-
W116	40009-25 (WEA 03)	Bestand	489900	5735263	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	162.0	175.0	-	0.0	7000	-
W117	40002-25-600	Bestand	490397	5735653	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	162.0	175.0	-	0.0	7000	-
W118	01538-12	Bestand	490772	5730198	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	-	0.0	2300	-
W119	01024-13	Bestand	490078	5730667	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	-	0.0	2300	-
W120	01772-10, 1002-13	Bestand	489780	5730699	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	-	0.0	2300	-
W121	02082-10	Bestand	490564	5729787	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	98.2	71.0	-	0.0	2300	-
W122	01368-10-14	Bestand	489096	5730954	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W123	02815-11, 40569-21	Bestand	491176	5729693	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W124	42299-15 (4)	Bestand	490121	5728793	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W125	42299-15 (3)	Bestand	490110	5729075	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W126	42299-15 (1)	Bestand	490214	5729364	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W127	42299-15(2)	Bestand	489891	5729364	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W128	41419-15, 40726-19	Bestand	490206	5729629	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W129	00628-12-14	Bestand	490911	5729831	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W130	40972-, 41972-18	Bestand	490552	5730003	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W131	41832-16, 40727-19	Bestand	490213	5730272	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W132	41776-19	Bestand	490453	5730346	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W133	02639-10-14 C	Bestand	489466	5730957	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W134	02639-10-14 A	Bestand	488789	5730993	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W135	02536-11-14	Bestand	489056	5731158	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W136	41838-23, 40797-16	Bestand	488969	5729518	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W137	40380-15	Bestand	490301	5730546	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	98.4	82.0	-	0.0	2300	-
W138	00356-13, 41133-15	Bestand	490290	5728565	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W139	02346-12-14	Bestand	490924	5729498	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W140	40828-22	Bestand	491620	5729431	Nordex	N149/5700	104.7	149.1	-	0.0	5700	-
W141	42292-21 (05)	Bestand	488872	5734379	Nordex	N149/5700	164.0	149.1	-	0.0	5700	-
W142	40796-20,42290-21 03	Bestand	488372	5734468	Nordex	N149/5700	164.0	149.1	-	0.0	5700	-
W143	41096-25, 40797-20, 42291-21 (WEA 04)	Bestand	488488	5735079	Nordex	N163/5700	164.0	163.0	-	0.0	5700	-
W144	42164-23 (WEA 05)	Bestand	489639	5734841	Nordex	N163/5700	164.0	163.0	-	0.0	5700	-
W145	41094-25, 40794-20,42288-21 01 (WEA 01)	Bestand	487040	5734585	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	6800	-
W146	41095-25, 42289-21 (WEA 02)	Bestand	488115	5734762	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	6800	-
W147	41097-25, 40799-20 ,42293-21 (WEA 06)	Bestand	488842	5734798	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	6800	-
W148	42167-23 (WEA 06)	Bestand	490100	5734515	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	6800	-
W149	42166-23 (WEA 04)	Bestand	490264	5734946	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	6800	-
W150	42163-23 (WEA 01)	Bestand	489819	5735721	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	6800	-
W152	Q12	Bestand	491376	5729811	Tacke	TW 600	50.0	43.0	-	0.0	600	-
W153	Q15	Bestand	491451	5730386	Tacke	TW 600e	60.0	46.0	-	0.0	600	-
W154	40463-15	Bestand	490273	5729987	Vestas	V112-3.3 MW	140.0	112.0	-	0.0	3300	-
W155	41147-16,42062-19(3)	Bestand	488783	5729841	Vestas	V126-3.45 MW	137.0	126.0	-	0.0	3450	-
W156	41837-23, 41146-16 (08)	Bestand	489042	5730257	Vestas	V126-3.45 MW	149.0	126.0	-	0.0	3450	-
W157	41142-16,42060-19(2)	Bestand	489331	5729632	Vestas	V126-3.45 MW	149.0	126.0	-	0.0	3450	-
W158	41145-16 (06)	Bestand	488280	5729963	Vestas	V126-3.45 MW	149.0	126.0	-	0.0	3450	-
W159	41911-23 (WEA 7)	Bestand	493894	5727319	Vestas	V136-4.2 MW	166.0	136.0	-	0.0	4200	-
W160	41482-23 (WEA 08)	Bestand	494492	5727618	Vestas	V150-5.6 MW	169.0	150.0	-	0.0	5600	-
W161	41487-23 (WEA 14)	Bestand	493787	5727698	Vestas	V162-6.2 MW	169.0	162.0	-	0.0	6200	-
W165	41485-23 (WEA 13)	Bestand	495507	5727572	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	-	0.0	7200	-
W166	41479-23 (WEA 15)	Bestand	492953	5727695	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	-	0.0	7200	-
W170	42173-25, 42052-23	Bestand	492427	5728377	Nordex	N175/6.X	199.0	175.0	-	0.0	6800	-

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P_N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	*Y* [m]								
W172	41099-25, 42175-23 (WEA 04)	Bestand	486741	5733400	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	-	0.0	5560	-
W173	41910-23 (WEA 17)	Bestand	492581	5728278	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	-	0.0	7200	-
W174	42171-25 (WEA 01)	Bestand	493800	5730077	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	-	0.0	7000	-
W175	41914-23 (WEA 11)	Bestand	494758	5727373	Vestas	V162-6.2 MW	169.0	162.0	-	0.0	6200	-
W176	42211-25, 42128-25 (WEA 03)	Bestand	495196	5730813	Nordex	N133/4800	164.0	133.2	Trudelbetrieb	0.0	4800	WV 2/1

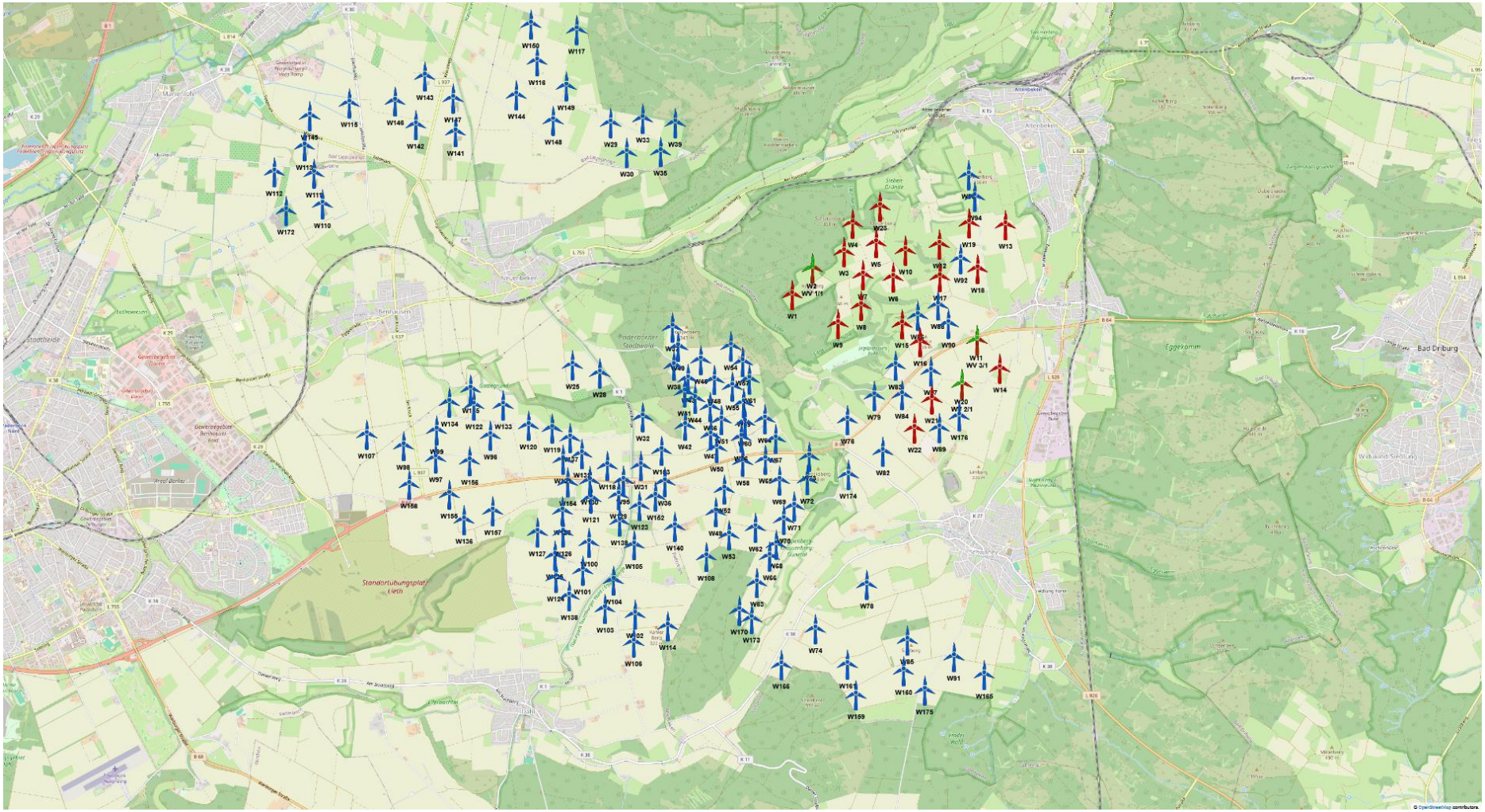

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Übersicht); Kartenmaterial: [3.1, 3.2]

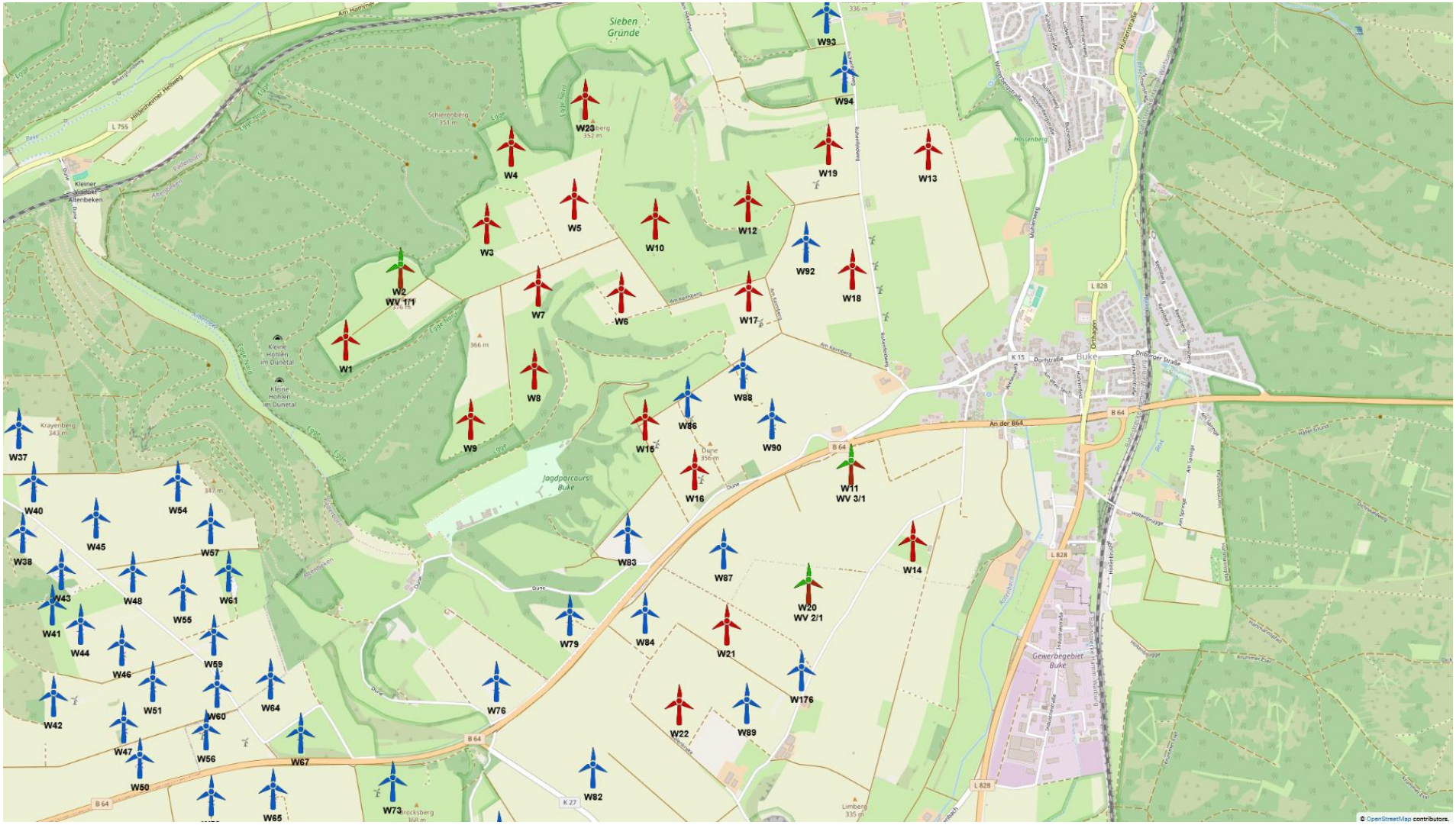

Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detail); Kartenmaterial: [3.1, 3.2]

2.2 Zu Grunde gelegte Windverhältnisse

Es wurden ganzjährige, auf Vereisungsereignisse gefilterte standortbezogene Windverhältnisse, unterteilt in 12 Sektoren, zu Grunde gelegt [20.2, 20.3, 20.4]. Diese werden als richtig und für den Standort repräsentativ vorausgesetzt.

Um die Windverhältnisse auf Nabenhöhe am jeweiligen Anlagenstandort zu ermitteln, werden die Daten der Windverhältnisse [20.2, 20.3, 20.4] auf die notwendigen Höhen umgerechnet, sofern diese nicht bereits auf Nabenhöhe vorliegen. Die Umrechnung erfolgt auf Basis eines logarithmischen Windprofils und des am Standort der Windverteilung ermittelten Höhenexponenten α. Bei der vertikalen Umrechnung wird der Formparameter k als invariant mit der Höhe angenommen und lediglich der Skalenparameter A umgerechnet. Eine horizontale Umrechnung vom Standort der Winddaten zu den jeweiligen WEA-Standorten erfolgt nicht. Liegen in [20.2, 20.3, 20.4] mehrere Windverteilungen vor, werden diese den jeweiligen WEA zugeordnet. Tabelle 2.2 führt die in [20.2] übermittelten Windbedingungen am Standort auf.

Die Windverteilung bildet die Basis für die Simulation der Flugbahnen eines Eisstücks. Entsprechend der Verteilung der sektoriellen Häufigkeit p sowie den sektoriellen Weibullparametern A und k werden zufallsbasiert eine Windrichtung und eine Windgeschwindigkeit ermittelt, welche für ein spezifisches Wurfereignis zu Grunde gelegt werden.

Tabelle 2.2: Windverhältnisse am Standort WV 1/1 [20.2]

UTM ETRS89 Zone 32			***A*** **[m/s]**	***k*** **[-]**	***p*** **[%]**
X [m]	**Y [m]**	**h_{WV} [m]**			
493352	**5732662**	**170.0**			
Sektor | Windrichtung [°]					
N | 0			6.24	2.21	3.28
NNO | 30			7.04	2.63	4.75
ONO | 60			8.52	3.02	9.33
O | 90			9.72	2.53	10.38
OSO | 120			10.13	3.06	9.28
SSO | 150			10.09	3.08	6.67
S | 180			10.75	2.78	5.12
SSW | 210			9.17	2.27	4.36
WSW | 240			10.55	2.52	9.96
W | 270			10.45	2.64	20.88
WNW | 300			8.53	2.55	11.39
NNW | 330			6.26	2.42	4.59

Tabelle 2.3: Windverhältnisse am Standort WV 2/1 [20.3]

UTM ETRS89 Zone 32			*A* [m/s]	*k* [-]	*p* [%]
X [m]	**Y [m]**	**h_{WV} [m]**			
495228	**5731211**	**180.0**			
Sektor | Windrichtung [°]					
N | 0			5.88	2.28	3.62
NNO | 30			6.39	2.71	5.15
ONO | 60			7.53	2.99	9.10
O | 90			8.48	2.53	9.42
OSO | 120			9.05	3.00	8.83
SSO | 150			9.14	3.25	6.60
S | 180			9.93	2.91	5.26
SSW | 210			8.53	2.43	4.52
WSW | 240			9.80	2.59	9.37
W | 270			10.20	2.76	21.22
WNW | 300			8.28	2.82	12.27
NNW | 330			6.01	2.39	4.64

Tabelle 2.4: Windverhältnisse am Standort WV 3/1 [20.4]

UTM ETRS89 Zone 32			*A* [m/s]	*k* [-]	*p* [%]
X [m]	**Y [m]**	**h_{WV} [m]**			
495423	**5731760**	**115.0**			
Sektor | Windrichtung [°]					
N | 0			5.20	2.54	3.23
NNO | 30			5.72	2.76	5.26
ONO | 60			6.81	3.15	10.04
O | 90			7.62	2.73	9.36
OSO | 120			8.13	3.52	9.55
SSO | 150			8.28	3.75	7.29
S | 180			8.72	3.51	5.92
SSW | 210			7.51	2.59	4.26
WSW | 240			8.48	2.63	9.58
W | 270			8.48	2.68	21.25
WNW | 300			6.84	2.60	10.44
NNW | 330			5.07	2.55	3.81

3 Standortanalyse

3.1 Vereisungspotenzial

Die Vereisung von Windenergieanlagen hängt von vielen Faktoren ab. Neben Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur spielen auch Betriebskennwerte der WEA und topografische Eigenschaften des Standorts eine entscheidende Rolle, um die Vereisungsbedingungen zu beschreiben. Diese Vielzahl von Einflussfaktoren macht es nur bedingt möglich, das Vereisungspotenzial allein auf Basis meteorologischer Größen zu bestimmen.

Vereisung kann verschiedene Erscheinungstypen an WEA verursachen [5]:

- **Raureif:** Dabei setzen sich unterkühlte Wassertropfen der Umgebungsfeuchtigkeit auf den Bauteilen der WEA ab und gefrieren direkt. Dieser Prozess kann weichen Raureif mit einer Dichte von $200\ \frac{kg}{m^3} - 600\ \frac{kg}{m^3}$ bei kleinen Tropfen und harten Raureif mit einer Dichte von $600\ \frac{kg}{m^3} -\ 900\ \frac{kg}{m^3}$ bei großen Tropfen erzeugen.
- **Klareis:** Hierbei bildet sich zunächst ein Wasserfilm aus dem abgesetzten Wasser aus Wolken und Nebel auf den Bauteilen der WEA, der eine Temperatur nahe *0°C* hat. Anschließend gefriert der Wasserfilm auf der Oberfläche, was zu Eis mit einer Dichte von etwa $900\ \frac{kg}{m^3}$ führt.
- **Nassschnee:** Dabei trifft teilweise geschmolzener Schnee auf die Oberfläche der WEA und bildet eine Schicht, die anschließend gefriert. Nassschnee hat eine Dichte von $300\ \frac{kg}{m^3} -\ 600\ \frac{kg}{m^3}$.
- **Eisregen:** Hierbei entsteht durch das Gemisch aus gefrorenem Eis und Regentropfen eine Klareisschicht auf der Oberfläche der WEA.

Untersuchungen, welche die großflächigen Vereisungsbedingungen auf Basis gemessener Wetterdaten in Deutschland analysieren, zeigen, dass die Kombination verschiedener Vereisungsereignisse (gefrierender Regen, nasser Schnee, In-Wolken-Vereisung) valide Daten liefern kann, wenn sie durch die Interpolation von Wetterdaten räumlich aufgelöst werden [4]. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt eine großflächige Vereisungskarte für Deutschland [15] bereit, die gemittelte Vereisungsdaten mit einer Auflösung von $1\ km\ \times\ 1\ km$ über einen Zeitraum von 30 Jahren umfasst. Des Weiteren werden in [4] Vergleichsuntersuchungen hinsichtlich der Vereisungsbedingungen in Deutschland an 74 (67 nach Bereinigung) Wetterstationen durchgeführt. Hierfür werden Wetterereignisse mit gefrierendem Regen, Nassschneeereignissen und Eisbildung in Wolken untersucht. Diese Untersuchungen zeigen, dass für Standorte, die weder als hochgelegen-exponiert noch als geschützt anzusehen sind, die Anzahl der Vereisungsereignisse gut durch eine Exponentialfunktion abgebildet werden kann. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung werden die WEA-Standorte hinsichtlich dieses Kriteriums überprüft. Sofern die Topografie des Standortes keine Hinweise auf eine hochgelegen-exponierte oder geschützte Lage zeigt, wird die in [4] dargestellte Exponentialfunktion für die Bestimmung der Vereisungstage zu Grunde gelegt. Andernfalls wird die Anzahl der Vereisungstage am Standort anhand der großflächigen Vereisungskarte für Deutschland [15] ermittelt. In Tabelle 3.1 sind die für den Standort angesetzten Vereisungstage dargestellt.

Tabelle 3.1: Zugrunde gelegte Vereisungstage am Standort

Standort	Vereisungstage
Buke	13.0

Nachdem die Anzahl der anzunehmenden Vereisungsereignisse pro Jahr ermittelt wurde, kann die Anzahl der betrachteten Eisobjekte pro Vereisungsereignis berechnet werden. Am Alpine Test Site

Gütsch wurden Eiswurfereignisse beobachtet und dokumentiert [5, 6]. Im Rahmen der Untersuchung wurde über einen Zeitraum von mehreren Jahren bei einer Enercon E-44 Eisstücke, welche von der WEA geworfen wurden oder gefallen sind, dokumentiert.

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus [5, 6] im Rahmen einer Ähnlichkeits-Vergleichsrechnung auf die Geometrie der geplanten WEA umgerechnet – basierend auf dem Quadrat des Rotordurchmessers. Aufgrund der in [5] diskutierten Unsicherheit hinsichtlich der dokumentierten Eisstücke wird von einer Dunkelziffer von 100 % ausgegangen. Die hier dargestellten Ergebnisse sind folglich als konservativ anzusehen. Die in [5, 6] untersuchte WEA hat einen Rotordurchmesser von 44 m, womit sich ein Quadrat des Rotordurchmessers von 1936 m² ergibt. Dieses wird mit dem Quadrat des Rotordurchmessers der am Standort geplanten WEA ins Verhältnis gesetzt. Mit diesem Verhältnis wird die Anzahl der anzusetzenden Eisstücke vom dem Standort Gütsch auf den hier untersuchten Standort skaliert.

Tabelle 3.2: Anzahl der betrachteten Eisstücke am Standort pro Jahr

Geplanter WEA-Typ	D [m]	D² [m²]	Eisobjekte/Jahr
E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	160.0	25600	2156
E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	30625	2579
V172-7.2 MW	172.0	29584	2491

3.2 Eiswurf und Eisfall

Eisfragmente, die aus beträchtlicher Höhe und mit erheblicher Geschwindigkeit herabfallen, stellen eine Gefahr für Verkehrsteilnehmer im betroffenen Umkreis dar. Für Personen, die sich im Freien aufhalten, stellen die Eisfragmente eine direkte Gefahr dar, da sie durch diese verletzt werden können. Bei einem Kopftreffer durch ein Eisfragment kann konservativ von einer tödlichen Verletzung ausgegangen werden. Auch für Personen, die sich in einem Fahrzeug innerhalb der Gefahrenzone befinden, besteht die Gefahr, dass durch einen Einschlag Schäden am Fahrzeug entstehen, die zu einem Unfall führen können. Ein maßgebender Faktor für die Berechnung von Eiswurf sind die Betriebsparameter der zu betrachtenden WEA. Dabei sollte zunächst zwischen Eiswurf und Eisfall unterschieden werden. Bei Eiswurf werden die spezifischen Betriebsmodi zur Berechnung der Flugweiten herangezogen, um die durch die Rotation der Rotorblätter entstehenden Kräfte zu berücksichtigen. Somit werden die Abwurfbedingungen für das jeweilige Eisstück über die Parameter des Betriebsmodus und die zugrunde gelegte Windverteilung definiert. Bei der Betrachtung von Eisfall hingegen sind die Drehzahlen deutlich geringer, da sich die betrachtete WEA im Trudelbetrieb befindet. Weitere auf das Eisstück wirkende Kräfte (z.B. Wind) bleiben davon unberührt.

3.3 Eiserkennungssysteme

Ein Eiserkennungssystem sorgt dafür, dass bei detektiertem Eisansatz die betreffende WEA in den Trudelbetrieb versetzt wird. Somit folgt die WEA nicht mehr der Kennlinie für den Normalbetrieb, sondern der Kennlinie für den Trudelbetrieb. Ein Normalbetrieb unter Vereisungsbedingungen wird somit ausgeschlossen und in den vorgenommenen Berechnungen nicht berücksichtigt. Die Windnachführung bleibt jedoch unberührt von dem Wechsel in den Trudelbetrieb.

Als risikominimierende Maßnahme besteht die Möglichkeit, die Nachführung nach Erkennen eines Eisansatzes abzuschalten und die betreffende WEA nach Eiserkennung in einem definierten Azimut-Winkel zu halten.

Im vorliegenden Gutachten wird keine Bewertung des Eiserkennungssystems vorgenommen. Es wird davon ausgegangen, dass für die WEA W1 – W23 ein funktionsfähiges Eiserkennungssystem installiert ist. Somit werden die Betriebsparameter des Trudelbetriebs angesetzt [19.1, 19.2].

3.4 Berechnung der Flugbahnen

3.4.1 Simulation der Flugbahnen

Für die Berechnung der Flugbahn eines Eisfragments werden die in [1] beschriebenen Erkenntnisse zur Beschreibung der Flugbahnen von Eisblöcken einer WEA verwendet. Mit diesem Modell kann unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen am Standort sowie der spezifischen Charakteristika der WEA die Bahnkurve eines Eisblocks bestimmt werden [16].

Die folgenden Parameter werden bei der Beschreibung der Bahnkurve berücksichtigt:

- m : *Masse des Eisstücks [kg]*
- x_0, y_0, z_0 : *Startposition des Eisstücks [m]*
- V_x, V_y, V_z : *partielle Startgeschwindigkeiten des Eisstücks* $\left[\frac{m}{s}\right]$
- ρ : *Luftdichte am Standort* $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
- C_D : *Strömungswiderstandskoeffizient des Eisstücks* [-]
- A : *Referenzfläche des Eisstücks [m²]*
- $V(z)$: *höhenabhängige Windgeschwindigkeit* $\left[\frac{m}{s}\right]$ *(wird während der Wurfbewegung auf die jeweilige Höhe des Eisstücks umgerechnet)*
- NH : *Nabenhöhe [m]*
- D : *Rotordurchmesser [m]*

Das folgende Gleichungssystem beschreibt die resultierenden Kräfte während der Flugphase eines Eisblocks [16]. Zusammen mit den Initialbedingungen für das Eisstück (x_0, y_0, z_0 und V_x, V_y, V_z), kann die Flugbahn eines Eisstücks mithilfe dieser Gleichungen beschrieben werden. Zusätzlich findet in dem Modell ein digitales Geländemodell Anwendung. Die STRM-Daten (Shuttle Radar Topography Mission) sind mit einer Auflösung von einer Winkelsekunde (ca. *30 m × 30 m*) hinterlegt. Sofern die Topografie am Standort es erfordert, wird während der Integration der Flugbahn die Flughöhe laufend mit den Höhendaten abgeglichen, um den Schnittpunkt mit der Geländeoberfläche zu ermitteln. Um den Verlauf des Geländeprofils zwischen den Rasterpunkten zu berücksichtigen, wird die Flugweite entsprechend der Differenz zwischen den beiden Geländehöhen, in denen die Geländehöhe erstmals erreicht wird, interpoliert.

$$m\,\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{1}{2}\rho C_D A\left(\frac{\partial x}{\partial t} - V\right)|U|$$

$$m\,\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{1}{2}\rho C_D A\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)|U|$$

$$m\,\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = -mg\ -\frac{1}{2}\rho C_D A\left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)|U|$$

$$|U| = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial x}{\partial t} - V\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2\right]}$$

Das oben abgebildete Gleichungssystem liefert jeweils die Flugbahn eines Eiswurfereignisses. Damit eine Aussage über die Risiken bezüglich Eiswurf bzw. Eisfall durch die geplante WEA getroffen werden kann, muss die Berechnungsmethode mit einer statistischen Methode gekoppelt werden. Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation werden für jede berechnete Flugbahn die Eingangsparameter zufällig anhand probabilistischer Werteverteilungen ermittelt. Die Häufigkeitsverteilung der Zufallsparameter

entspricht den standortspezifischen Gegebenheiten oder wird aus standortübergreifenden Untersuchungen abgeleitet.

3.4.2 Randbedingungen

Für die Berechnung der Flugbahnen werden die folgenden Annahmen getroffen. Diese basieren auf der verfügbaren Datengrundlage oder wurden stets konservativ gewählt:

- Die Berechnungen werden auf Basis einer ganzjährigen Windstatistik durchgeführt, die eine Sektorbreite von 30° aufweist. Die Häufigkeit der Windrichtungen innerhalb eines Sektors wird als gleichverteilt angenommen.
- Die Luftdichte für den WEA-Standort wird repräsentativ für Vereisungsbedingungen auf 1.3 $\frac{kg}{m^3}$ angenommen und als höheninvariant angesehen.
- Die Massenverteilung der Eisstücke entlang des Rotorradius wird nach einer Eismassenverteilung gemäß IEC 61400-1 [7] angenähert.
- Die Vereisungstage gemäß DWD [15] basieren auf Wetterereignissen der vergangenen 40 Jahre und werden als repräsentativ für die Betriebslebensdauer angenommen.
- Im Rahmen der Simulation werden alle relevanten Variablen auf Basis von Häufigkeitsverteilungen erzeugt. Interne Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Stichprobe von 100.000 zufällig generierten Einzelereignissen repräsentativ für die Untersuchung ist. Das bedeutet, dass die im Zusammenhang mit einer Zufalls-Simulation resultierenden Schwankungen der Ergebnisse aufgrund der großen Stichprobe als vernachlässigbar anzusehen sind.
- Es liegen nur wenige empirische Studien über die Anzahl der Eiswurfereignisse pro Vereisungstag vor. Das Ansetzen der Untersuchungsergebnisse gemäß [5] mit einem Unsicherheitszuschlag von 100 % wird jedoch als konservativ bewertet.

3.5 Ermittlung der zu untersuchenden Gefährdungszonen

Als potenzielle Gefährdungszone wird der Bereich innerhalb eines Abstands der 1.5-fachen Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser angesehen [1]. In der folgenden Abbildung 3.1 wird dieser Bereich im Umkreis der zu untersuchenden WEA dargestellt.

Durch die Gefährdungszone verlaufen Straßen und Wege, die von Personen genutzt werden. Falls es bei einem Weg mehrere Möglichkeiten gibt, diesen zu befahren oder zu laufen, wird stets der kritische Pfad (mit dem höheren Risiko) gewählt. Daher sind Routen, die ggf. nicht in die Risikobewertung mit einbezogen werden, durch die betrachteten Routen konservativ abgedeckt. Verkehrswege, bei welchen durch Ihre Streckenführung zu erkennen ist, dass eine Nutzung durch Passanten nicht zu erwarten ist, da diese lediglich z.B. als Zuwegung eines Feldes dienen, werden nicht als Schutzobjekt betrachtet. Andernfalls würde das berechnete Risiko stark überbewertet werden. Für sich zufällig auf diesen Wegen aufhaltende Personen ergibt sich demnach kein signifikantes Risiko.

Die Zugangswege zu den WEA, die an den Anlagen enden und nicht Teil eines ausgedehnten Wegenetzes sind, werden nicht als prioritäre Schutzobjekte angesehen, da sie primär für den Zugang von qualifiziertem Fachpersonal zu den WEA vorgesehen sind. Es ist jedoch empfohlen, angemessene Warnhinweise an diesen Zugangswegen für die Öffentlichkeit anzubringen.

Flächen, die keine Straßen oder Wege sind, für die ein Betreten durch Personen aber erwartbar ist und die eine Anbindung an das Verkehrswegenetz aufweisen, werden im Regelfall als Aufenthaltsflächen berücksichtigt. Dazu zählen beispielsweise Parkplätze, Spielplätze und Gärten. Überdachte Flächen werden nicht als relevante Aufenthaltsfläche angesehen, da der Aufenthalt dort vor Eiswurf bzw. Eisfall schützt.

Für die Schutzobjekte Dune, Feldwegenetz 1, Feldwegenetz 2, Feldwegenetz 3, Waldwegenetz A, Waldwegenetz B und Waldwegenetz C wurden konservativ abdeckend alle dem jeweiligen Schutzobjekt zugeordneten Wege als ein Schutzobjekt betrachtet. Die Ergebnisse decken somit auch die Nutzung einzelner Abschnitte eines Schutzobjekts ab.

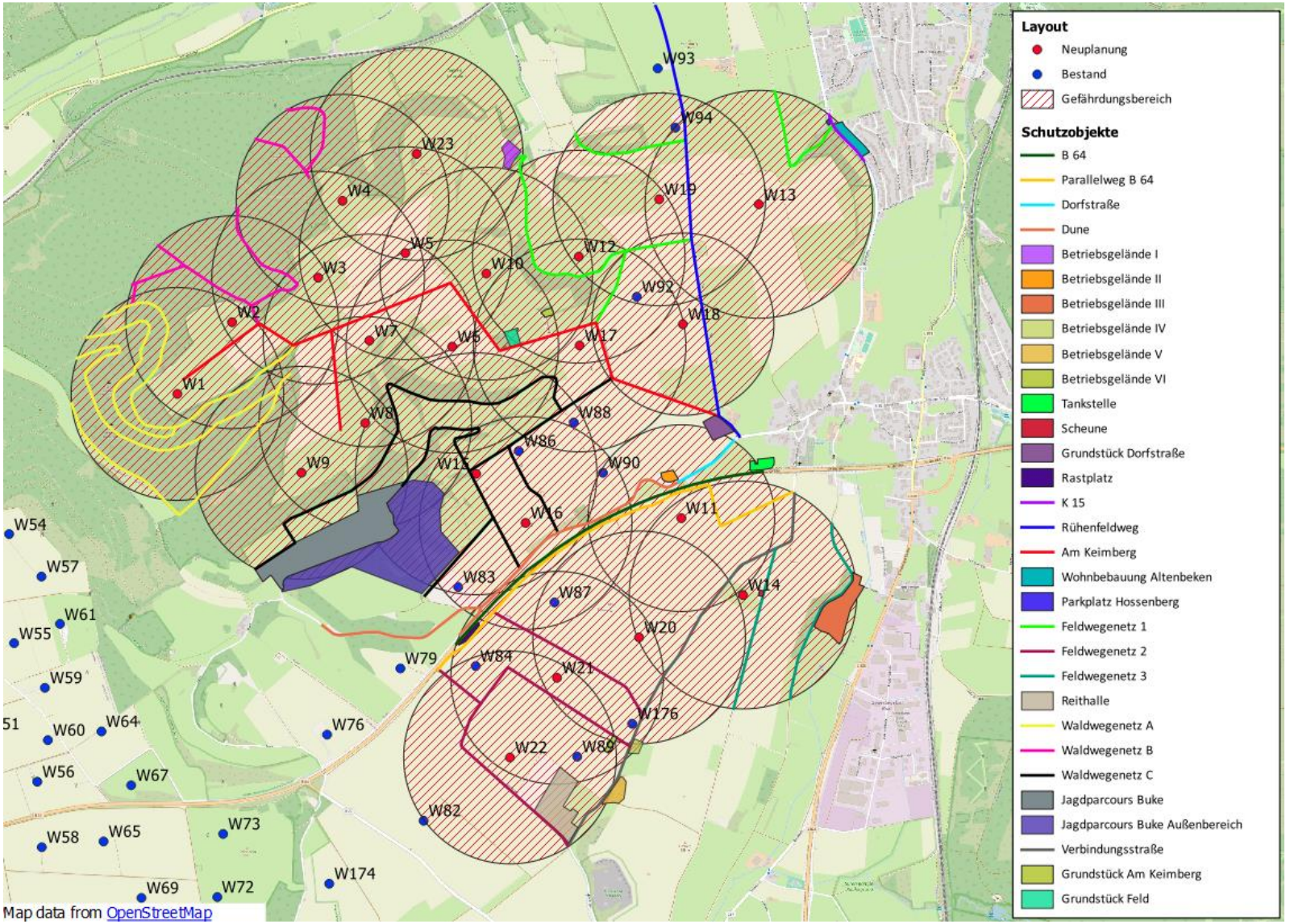

Abbildung 3.1 :Zu untersuchende Gefährdungszonen – Übersicht [3.1, 3.3]

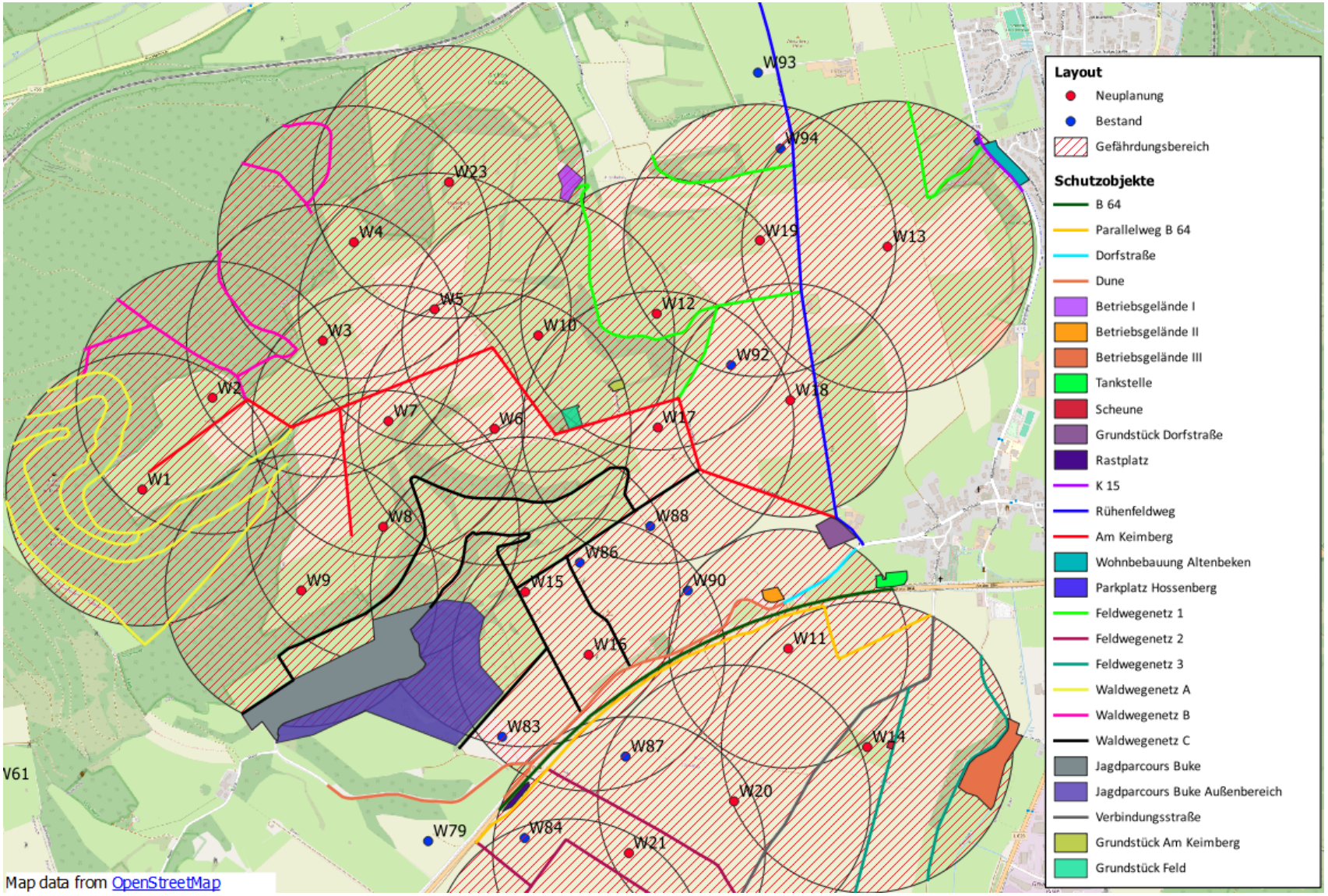

Abbildung 3.2 :Zu untersuchende Gefährdungszonen – Detailansicht Nord [3.1, 3.3]

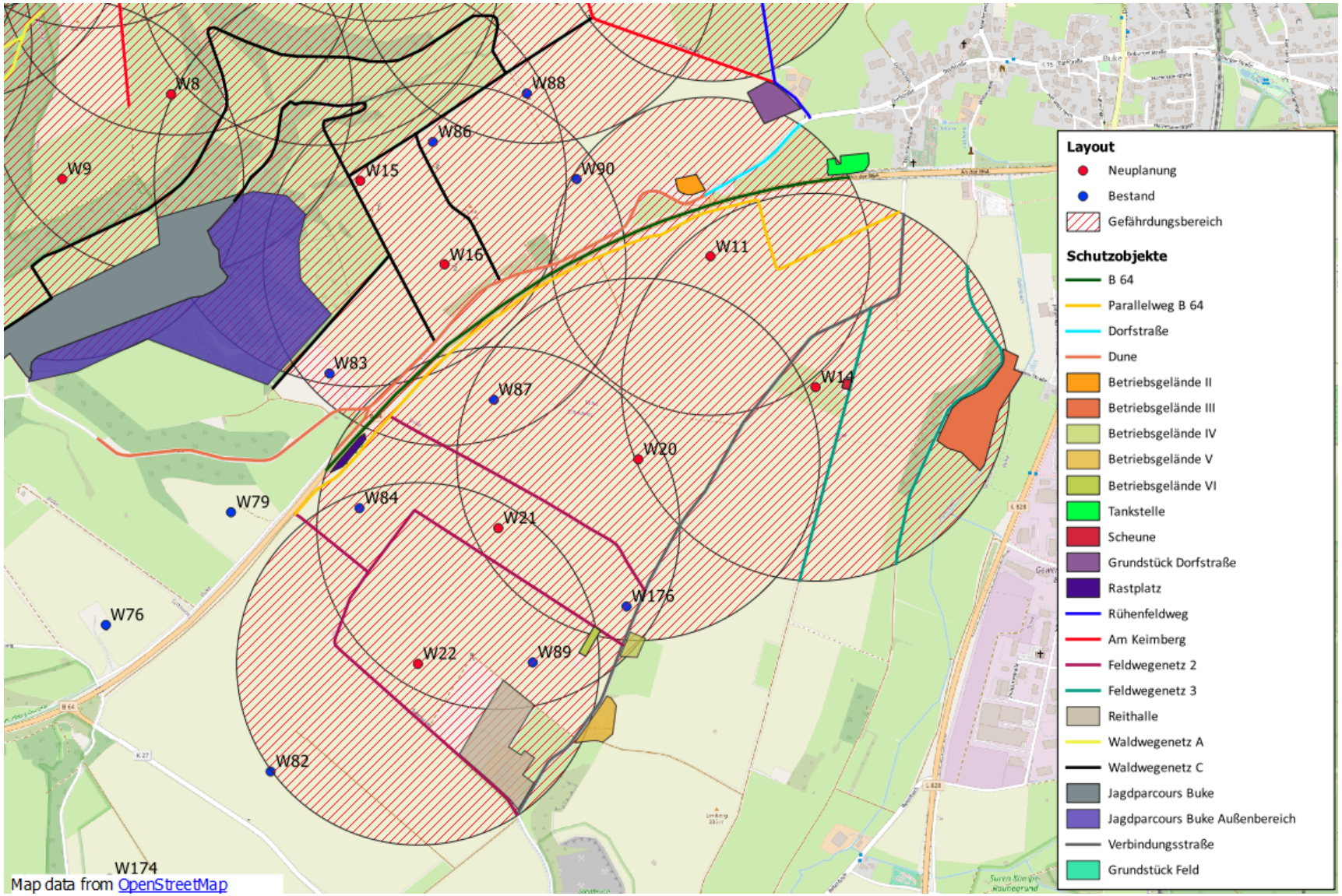

Abbildung 3.3 :Zu untersuchende Gefährdungszonen – Detailansicht Süd [3.1, 3.3]

In den in Abbildung 3.1 dargestellten Gefährdungszonen befinden sich die in der Tabelle 3.3 aufgelisteten Schutzobjekte.

Um das Risiko für Personen, die sich innerhalb dieser Gefährdungszonen auf einem der Schutzobjekte aufhalten, zu bewerten, werden, sofern relevant, auch weitere, nicht in diesem Gutachten zu bewertende WEA in die Risikobewertung mit einbezogen. Zuwegungen und Arbeitsflächen der WEA werden nicht in der Risikobetrachtung berücksichtigt. Personen, die sich auf dieser Fläche aufhalten, stehen in direktem Bezug zu den WEA und sind sich somit über die Risiken im Zusammenhang mit Eiswurf bzw. Eisfall bewusst, wodurch die Risikoakzeptanz steigt. Daher sind sie nicht als kritische Personen in der Risikobetrachtung zu berücksichtigen.

Tabelle 3.3: Zu untersuchende Schutzobjekte

Schutzobjekt	Für die Risikobewertung berücksichtigte WEA
B 64	W11, W15, W16, W21
Parallelweg B 64	W11, W14, W15, W16, W21, W79, W83, W84, W87, W90
Dorfstraße	W11
Dune	W11, W15, W16, W21, W76, W79, W83, W84, W87, W90
Betriebsgelände I	W23
Betriebsgelände II	W11, W90
Betriebsgelände III	W14
Betriebsgelände IV	W20, W21, W89, W176
Betriebsgelände V	W22, W89, W176
Betriebsgelände VI	W20, W21, W22, W89, W176
Tankstelle	W11
Scheune	W14
Grundstück Dorfstraße	W11
Rastplatz	W21, W79, W83, W84, W87
K 15	W13
Rühenfeldweg	W13, W18, W19, W92, W93, W94
Am Keimberg	W1, W2, W3, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W12, W17, W18, W88, W92
Wohnbebauung Altenbeken	W13
Parkplatz am Hossenberg	W13
Feldwegenetz 1	W10, W12, W13, W17, W18, W19, W23, W92, W94
Feldwegenetz 2	W16, W20, W21, W22, W79, W82, W83, W84, W87, W89, W176
Feldwegenetz 3	W14
Reithalle	W21, W22, W89, W176
Waldwegenetz A	W1, W2, W3, W7, W8, W9
Waldwegenetz B	W1, W2, W3, W4, W7, W23
Waldwegenetz C	W6, W7, W8, W9, W15, W16, W17, W79, W83, W84, W86, W87, W88, W90
Jagdparcours Buke	W8, W9, W15
Jagdparcours Buke Außenbereich	W8, W9, W15, W16, W79, W83, W84
Verbindungsstraße	W11, W14, W20, W21, W22, W89, W176
Grundstück Am Keimberg	W6, W10, W12, W17
Grundstück Feld	W6, W10, W12, W17

4 Gültigkeit der Ergebnisse

Die in diesem Gutachten dargestellten Ergebnisse sind von verschiedenen Eingangsgrößen abhängig, wie dem WEA-Standort, dem WEA-Typ, der Nabenhöhe, dem Betriebsmodus und der Windverteilung. Wenn sich einzelne oder mehrere dieser Eingangsdaten ändern, kann die Gültigkeit der Simulationsergebnisse nicht mehr gewährleistet werden. Wenn sich die Datengrundlage der zu bewertenden Objekte ändert, ist ebenso eine erneute Bewertung der Gesamtsituation erforderlich. Sollten sich Daten hinsichtlich der Aufenthaltshäufigkeit und -dauer von Personen im Umfeld der WEA ändern, ist ebenfalls eine Neubewertung erforderlich.

Für die Eingangsgrößen, die für die Simulationen der Flugbahnen relevant sind, kann keine pauschale Aussage über die Konservativität getroffen werden [1]. Bei Änderung der Eingangsparameter (Koordinaten, Nabenhöhe, Rotordurchmesser, Betriebsmodus) ist somit zwingend eine Neubewertung erforderlich.

Es ist darauf hinzuweisen, dass jeder Versuch, Naturphänomene zu beschreiben, mit Unsicherheiten behaftet ist. Die durch die Modellierung bedingten Vereinfachungen ermöglichen lediglich einen einzelnen Wert für das Risiko zu ermitteln. Dieser einzelne Wert stellt häufig nicht das exakte Risiko an jedem Punkt dar, sondern ist ein über eine Fläche approximierter Wert. Weiterhin gibt es bei der Berechnung der Risiken Faktoren, welche zu den Unsicherheiten des Gesamtmodells beitragen [1]. Hierzu zählen die Faktoren:

- Windverteilung
- Masse und Form der Eisstücke
- Anzahl der Fragmente
- Relevanter Einwirkungsbereich
- Expositionszeiträume der betrachteten Personen
- Risikoakzeptanzkriterien
- Wirksamkeit empfohlener Maßnahmen

Die in dieser Analyse gewählten Annahmen sind stets mit dem nötigen Konservatismus gewählt, insbesondere wenn Unsicherheiten in der Datengrundlage zu erwarten sind. Dadurch wird die Gültigkeit der Ergebnisse hinsichtlich der getroffenen Annahmen weiterhin gewährleistet.

5 Einordnung der Schutzobjekte

5.1 Expositionszeiten

Damit die Risikobewertung weitestgehend einheitlich durchgeführt werden und dabei trotzdem die vor Ort vorherrschenden Gegebenheiten realistisch abgebildet werden können, werden die Wege in Nutzungskategorien hinsichtlich ihrer Nutzungshäufigkeit unterteilt. Die folgenden, in Tabelle 5.1 dargestellten Nutzungskategorien wurden in Anlehnung an [1] definiert:

Tabelle 5.1: Nutzungskategorien von Wegen

Nutzungskategorie	Beschreibung
Regelmäßige Nutzung	Aufgrund der Beschaffenheit des Weges, seiner Zugänglichkeit sowie seiner Nähe zu Ortschaften ist davon auszugehen, dass dieser Weg regelmäßig, nahezu täglich, von Spaziergängern oder Joggern frequentiert wird. Dabei genügt es, wenn bereits ein einzelner Spaziergänger oder Jogger diesen Weg regelmäßig nutzt.
Häufige Nutzung	Bei Wegen dieser Art sind nicht alle Merkmale der Kategorie „Regelmäße Nutzung“ zutreffend. Beispielsweise kann eine größere Entfernung zu Ortschaften sowie eine eingeschränkte Zugänglichkeit dazu führen, dass davon ausgegangen werden kann, dass der Weg zwar nicht täglich, aber dennoch häufig von Spaziergängern oder Joggern genutzt wird.
Gelegentliche Nutzung	In diese Kategorie fallen Wege, die zwar klar als solche erkennbar sind, jedoch eindeutig nicht als Hauptwege gelten. Ihre Ausbaustufe und Erreichbarkeit deuten auf eine nur gelegentliche Nutzung hin.
Seltene Nutzung	In diese Kategorie fallen Wege, die noch als solche erkennbar sind, deren Zustand und Erreichbarkeit jedoch auf eine seltene Nutzung hinweisen.
Normalerweise nicht genutzter Weg	Wege, die aus der Vogelperspektive kaum noch sichtbar sind, eindeutig nur als Zufahrtswege für die Forst- oder Landwirtschaft dienen oder sehr weit von der nächsten Wohnbebauung entfernt liegen, werden als in der Regel unbenutzt angesehen. Die Exposition wird in diesem Fall anhand einer Person bewertet, die sich zufällig an diesem Ort aufhält.

Die Witterungsbedingungen haben insbesondere bei Wegen und Flächen, deren Nutzung der Naherholung oder Freizeitgestaltung dient, einen Einfluss auf die Nutzungshäufigkeiten. Bei der Bestimmung der Nutzungskategorie eines Schutzobjekts wird somit die bei Eisansatz erwartbare Nutzungshäufigkeit herangezogen.

Für Autofahrer wird das kollektive Risiko berücksichtigt, wenn von einer durchschnittlichen Verkehrsdichte von mehr als 100 Fahrzeugen pro Tag ausgegangen wird. Dies wird grundsätzlich für alle Straßen angenommen. Das individuelle Risiko eines einzelnen Fahrers bei einer einfachen Fahrt wird ermittelt und anschließend mit der Anzahl der Fahrzeuge multipliziert, um das kollektive Risiko zu bestimmen. Sofern Daten zu der Nutzungshäufigkeit vorliegen, wird auf diese zurückgegriffen. Falls keine Daten vorliegen, erfolgt eine konservative Schätzung der Verkehrsdichte. Für die Risikobewertung werden die folgenden in der Tabelle 5.2 zusammengefassten Nutzungshäufigkeiten zu Grunde gelegt.

Tabelle 5.2: Nutzungshäufigkeiten der Schutzobjekte

Schutzobjekt	Nutzungshäufigkeit
B 64	15650 Fz. / Tag
Parallelweg B 64	Gelegentliche Nutzung
Dorfstraße	Regelmäßige Nutzung
Dune	Häufige Nutzung
Betriebsgelände I	Regelmäßige Nutzung
Betriebsgelände II	Regelmäßige Nutzung
Betriebsgelände III	Regelmäßige Nutzung
Betriebsgelände IV	Regelmäßige Nutzung
Betriebsgelände V	Regelmäßige Nutzung
Betriebsgelände VI	Gelegentliche Nutzung
Tankstelle	Regelmäßige Nutzung
Scheune	Gelegentliche Nutzung
Grundstück Dorfstraße	Regelmäßige Nutzung
Rastplatz	200 Fz. / Tag
K 15	1700 Fz. / Tag
Rühenfeldweg	Häufige Nutzung
Am Keimberg	Seltene Nutzung
Wohnbebauung Altenbeken	Regelmäßige Nutzung
Parkplatz am Hossenberg	Gelegentliche Nutzung
Feldwegenetz 1	Gelegentliche Nutzung
Feldwegenetz 2	Häufige Nutzung
Feldwegenetz 3	Seltene Nutzung
Reithalle	Regelmäßige Nutzung
Waldwegenetz A	Gelegentliche Nutzung
Waldwegenetz B	Gelegentliche Nutzung
Waldwegenetz C	Gelegentliche Nutzung
Jagdparcours Buke	Regelmäßige Nutzung
Jagdparcours Buke Außenbereich	Gelegentliche Nutzung
Verbindungsstraße	200 Fz. / Tag
Grundstück Am Keimberg	Regelmäßige Nutzung
Grundstück Feld	Regelmäßige Nutzung

5.2 Wirkungsbereich der einfallenden Eisstücke

Zur Ermittlung der Auftreffwahrscheinlichkeit müssen die Querschnittsfläche des Eisstücks und die relevante Trefferfläche herangezogen werden. Für die Querschnittsfläche der Eisstücke werden gemäß [1] die Eisstücke als Punktmasse angenommen. Für die relevante Trefferzone werden in der Risikoanalyse die folgenden Werte angesetzt [1]:

- **Fußgänger:**
  - **Kopftreffer:** Relevante Aufprallfläche 0.04 m² mit einer konservativ angenommenen tödlichen Trefferfolge.
  - **Rumpftreffer:** Relevante Aufprallfläche 0.18 m² mit konservativ angenommenen schweren Verletzungen als Trefferfolge.
- **Fahrzeuge:**
  - **Windschutzscheibe:** Als relevanter Bereich für eine Unfallfolge wird hier die Windschutzscheibe mit einer Fläche von 2.00 m² betrachtet.

Die Konservativität der getroffenen Annahmen wird hier maßgeblich mit der Verteilung der Massen der Eisstücke begründet. Eisstücke mit einem Gewicht von weniger als 100 g haben eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit, durch einen Aufprall tödliche Folgen hervorzurufen, machen aber etwa 25 % aller als relevant betrachteten Eisstücke aus [1].

Da Personen in einem Fahrzeug vor direkten Treffern von Eisstücken geschützt sind, kann eine direkte tödliche Folge durch einen Treffer mit einem Eisstück ausgeschlossen werden, jedoch wird hier das Risiko für einen schweren Unfall der Ursache eines Treffers durch ein Eisstück mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 % betrachtet [1, 17]. Das bedeutet, dass aus zehn Treffern mit einem Eisstück ein Fahrfehler, welcher zu einem schweren Unfall führt, resultiert.

6 Risikobewertungskriterien

In diesem Gutachten werden Treffer mit potenziell tödlichem Ausgang betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass ein ungeschützter Kopftreffer mit einem Eisstück tödliche Folgen hat. Diese Annahme ist konservativ, da Eisstücke mit einer Masse von weniger als 100 g wahrscheinlich keine tödlichen Verletzungen bei einer getroffenen Person verursachen würden [1]. Für eine Person, die sich in einem Fahrzeug befindet, sind direkte physische Schäden durch das Eisstück ausgeschlossen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass durch einen Aufprall auf der Windschutzscheibe, bedingt durch die Ablenkung oder den Schrecken des Fahrers, das Unfallrisiko steigt. In dieser Analyse wird in Anlehnung an [1] davon ausgegangen, dass einer von zehn Treffern auf die Windschutzscheibe zu einem Unfall führt. Da keine belastbaren Daten über die Häufigkeit tödlicher Unfälle nach ähnlich gelagerten Ereignissen vorliegen, wird konservativ davon ausgegangen, dass ein solcher Unfall tödlich endet.

6.1 MEM-Prinzip

Als Bewertungsgrundlage für ein akzeptables Risiko, das ein technisches System für Personen hat, wird das Prinzip der Minimalen Endogenen Sterblichkeit (MEM-Prinzip) [8] herangezogen. Dieses Prinzip zielt darauf ab, dass das Risiko eines technischen Systems für Personen auf ein Minimum reduziert wird, sodass es im Einklang mit den menschlichen Überlebensbedürfnissen steht. Es berücksichtigt dabei nicht nur die direkten Risiken, die von der Maschine ausgehen, sondern auch die allgemeine Sterblichkeitsrate und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Mensch in einem bestimmten Zeitraum durch andere Ursachen umkommt.

Generell kann jede Maschine einen Gefährdungsbereich haben, in dem für eine Person eine Gefährdung ausgeht [9]. Dieser Gefährdungsbereich wird oft durch die potenziellen Auswirkungen der Maschine definiert, wie zum Beispiel herabfallende Objekte oder gefährliche Emissionen. Um das Risiko angemessen bewerten zu können, muss dieses jedoch in Relation zur allgemeinen Sterblichkeit gesetzt werden. Dies ermöglicht eine Vergleichbarkeit des Risikos über verschiedene Kontexte hinweg und erleichtert die Festlegung von Grenzwerten für akzeptable Risikoniveaus.

In den folgenden Abschnitten werden die in diesem Gutachten zugrunde gelegten Grenzwerte für das individuelle Risiko und das kollektive Risiko dargelegt. Diese Grenzwerte wurden unter Berücksichtigung des MEM-Prinzips sowie relevanter Forschungsergebnisse und Normen festgelegt. Dabei wurden verschiedene Szenarien und Einflussfaktoren berücksichtigt, um sicherzustellen, dass das Risiko für Personen in der Umgebung der geplanten WEA angemessen bewertet wird.

6.2 Festlegen der Grenzwerte für das Individualrisiko

Einen Wert für ein akzeptables individuelles Risiko zu finden, hängt von mehreren Faktoren ab. Beispielsweise ist die Risikoakzeptanz bei einem genauen Verständnis des Risikos höher gegenüber einem unbekannten Risiko. Ebenso ist die Risikoakzeptanz im beruflichen Kontext höher, da Arbeitende für das Risiko eine entsprechende Kompensation (Entlohnung) erhalten, über das Gefahrenpotential informiert sind sowie Schutzausrüstung tragen. Die in diesem Gutachten betrachtete kritische Person steht jedoch weder in einem beruflichen Kontext zu den geplanten WEA, noch wird diese Person Kenntnisse über die durch Eiswurf oder Eisfall von WEA ausgehenden Risiken haben. Aus diesem Grund wird für eine unbeteiligte Person der Grenzwert für das individuelle Risiko festgesetzt. Ein auf internationaler Ebene etablierter Wert für das Risikomanagement hinsichtlich des individuellen Risikos liegt bei 1×10^{-5} Todesfälle pro Jahr [10]. Auf Basis dieses Grenzwertes wird im folgenden Verlauf der Risikoanalyse das individuelle Risiko für die kritische Person bewertet.

6.3 Festlegen der Grenzwerte für das Kollektivrisiko

Bei der Wahl eines Kollektivrisikogrenzwerts geht es um eine Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs, die durch die geplante WEA auf die Verkehrsteilnehmer wirkt. Es wird davon ausgegangen, dass das Risiko eines schweren Unfalls – im Zusammenhang mit dem Betrieb einer WEA – durch Eiswurf oder Eisfall nicht signifikant erhöht werden darf. Als signifikant wird in diesem Zusammenhang eine Steigerung des Gefährdungspotenzials um 10 % angesehen [8].

Zur Ermittlung des Risikos, das für eine Person im Straßenverkehr anzunehmen ist, wurden aktuelle Verkehrsstatistiken des Statistischen Bundesamts (Destatis) [11] ausgewertet. Auf Basis der etwa 2.3 Millionen polizeilich erfassten Unfälle aus dem Jahr 2021 wurden in der Gesamtstatistik 395 Unfälle mit Personenschäden pro 1000 *km* Straßenlänge (außerorts ohne Autobahnen) und 1244 Unfälle mit Personenschäden pro 1000 *km* Straßenlänge (auf Autobahnen) dokumentiert. Gemeinsam mit den Unfallzahlen für diese Bereiche mit getöteten bzw. schwer verletzten Personen ergibt sich ein Risiko unter Berücksichtigung von Unsicherheitsfaktoren bei der Herleitung für den Straßenverkehr von $10^{-2}\ \frac{Schwere\ Unfälle}{km*Jahr}$. Als schwere Unfälle sind hier Unfälle mit Todesfolge und schweren Verletzungen zu verstehen. Unter Berücksichtigung des an das MEM-Kriterium [8] angelehnten, nicht signifikanten Anstiegs des Risikos für den Straßenverkehr ergibt sich ein Kollektiv-Risikogrenzwert von $10^{-3}\ \frac{Schwere\ Unfälle}{km*Jahr}$.

6.4 ALARP-Prinzip

Mit den in Abschnitt 6.2 und Abschnitt 6.3 festgelegten Grenzwerten für das Individualrisiko bzw. Kollektivrisiko lassen sich unter Bezugnahme des ALARP-Prinzips (As Low As Reasonably Practicable) [12, 18] weitere Risikogrenzwerte bestimmen. In der folgenden Abbildung 6.1 werden Risikoakzeptanzbereiche in Anlehnung an das ALARP-Prinzip [12, 18] definiert.

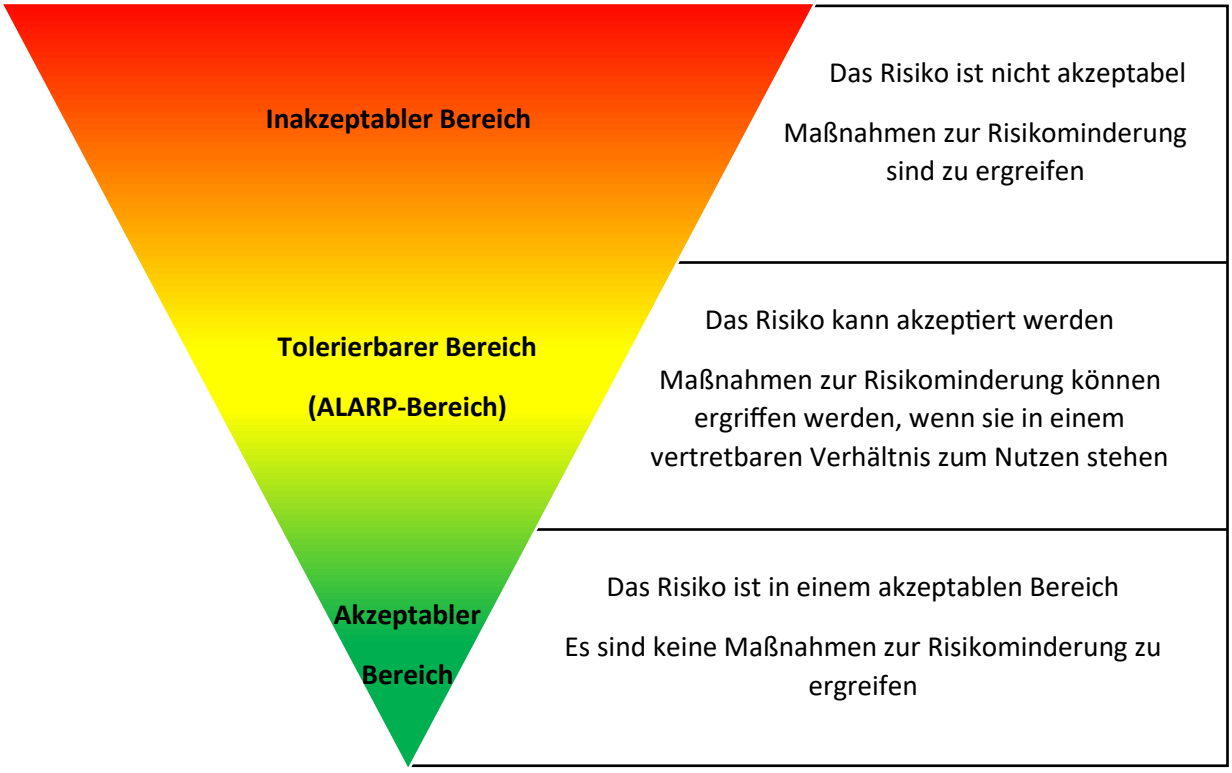

Abbildung 6.1: Übersicht der definierten Risikoakzeptanzbereiche nach dem ALARP-Prinzip [12]

6.5 Zusammenfassung der Grenzwerte für die Risikoanalyse

Weiterhin wird das ALARP-Prinzip genutzt, um zusätzliche Grenzwerte für die Risikoanalyse von Eiswurf oder Eisfall von WEA zu definieren. Die jeweilige obere Grenze des tolerierbaren Risikos wird als die in den Abschnitt 6.2 und Abschnitt 6.3 festgelegten Grenzwerte für das Individualrisiko bzw. Kollektivrisiko festgelegt. Somit gilt für das Individualrisiko $1 \times 10^{-5}\ \frac{Todesfälle}{Jahr}$ als obere Grenze zwischen dem ALARP-Bereich und einem inakzeptablen Risiko. Für das Kollektivrisiko gilt ein Risiko von $1 \times 10^{-3}\ \frac{Schwere\ Unfälle}{km*Jahr}$ als obere Grenze zwischen dem ALARP-Bereich und einem inakzeptablen Risiko.

Ausgehend von dem durch das MEM-Kriterium hergeleiteten Grenzwert sind Risiken bis zu zwei Größenordnungen unter dem Grenzwert als akzeptabel anzusehen. In der folgenden Tabelle 6.1 sind die für die Untersuchung zu Grunde gelegten Grenzwerte R_{ind} Individualrisiko bzw R_{koll} Kollektivrisiko dargestellt:

Tabelle 6.1: Risikogrenzwerte in Anlehnung an das ALARP-Prinzip

Grenzwerte individuelles Risiko	Grenzwerte kollektives Risiko	Risikobewertung
$R_{koll} \geq 10^{-5}$	$R_{koll} \geq 10^{-3}$	**inakzeptabler Bereich**: Das Risiko liegt in einem inakzeptablen Bereich, Maßnahmen zur Risikominimierung sind zwingend einzuhalten.
$10^{-6} \geq R_{ind} > 10^{-5}$	$10^{-4} \geq R_{koll} > 10^{-3}$	**(oberer) tolerierbarer Bereich:** Das Risiko liegt im oberen ALARP-Bereich. Maßnahmen zur Risikominimierung werden dringend empfohlen.
$10^{-7} \geq R_{ind} > 10^{-6}$	$10^{-5} \geq R_{koll} > 10^{-4}$	**(unterer) tolerierbarer Bereich:** Das Risiko liegt im unteren ALARP-Bereich. Maßnahmen zur Risikominimierung sind hinsichtlich ihres Kosten-Nutzen-Verhältnisses zu prüfen.
$10^{-9} \geq R_{ind} > 10^{-7}$	$10^{-7} \geq R_{koll} > 10^{-5}$	**akzeptabler Bereich:** Das Risiko liegt in einem signifikanten, aber unbedenklichen Bereich. Es besteht kein Handlungsbedarf hinsichtlich risikomindernder Maßnahmen.
$R_{koll} < 10^{-9}$	$R_{koll} < 10^{-7}$	**nicht signifikanter Bereich:** Das Risiko kann als vernachlässigbar angesehen werden.

6.6 Risikomindernde Maßnahmen

Die zur Verfügung stehenden Maßnahmen reichen von einfachen Warnsystemen mittels aufzustellender Warnschilder, die vor den Gefahren durch Eiswurf oder Eisfall von den WEA warnen, bis hin zur Sperrung von Straßen. Während die Sperrung von Straßen in den für Eisfall relevanten Perioden als unverhältnismäßige Maßnahme erscheint, ist genau jene Maßnahme besonders in Gebirgsregionen ein übliches Mittel zur Risikominimierung vor z.B. Lawinen. In der folgenden Tabelle 6.2 sind die potenziellen Maßnahmen zur Risikominimierung gemäß [1] aufgeführt.

Tabelle 6.2: Maßnahmen zu Risikominderung

Sicherheitsmaßnahme	Risikominderungsfaktor	Geeignet für
Warnzeichen für Eiswurf	$1 - 10$	Nebenstraßen und Wege
Warnleuchte in Verbindung mit einem Eiserkennungssystem in Kombination mit Warnzeichen für Eiswurf oder Eisfall	$10 - 100$	Nebenstraßen und Wege
Umleitung der Streckenführung unter Aufsicht von Sicherheitspersonal	$10 - 100$	Nebenstraßen und Wege
Straßensperrung mit Barriere und Beschilderung	$10 - 100$	Häufig genutzte Straßen und Kletterpfade oder Wanderwege

Sofern die Sperrung von Straßen, Wegen oder Flächen nicht möglich ist oder keine ausreichenden Effekte auf das bestehende Risiko haben, sind weitere Maßnahmen in Betracht zu ziehen, die eine Neuberechnung der von den WEA ausgehenden Risiken erfordern. In der folgenden Tabelle 6.3 sind potenzielle Maßnahmen zur Risikominimierung gemäß [1] aufgeführt.

Tabelle 6.3: Weiterführende Maßnahmen zur Risikoreduzierung

Maßnahme	Bemerkung
Fixierung des Azimutwinkels der WEA	Durch die Fixierung des Azimutwinkels können Ausrichtungen der WEA, welche ein hohes Risiko hervorrufen, ausgeschlossen werden.
Verringerung des Rotordurchmessers	ggf. können die Risiken an Straßen oder Wegen, welche einem hohen Risiko ausgesetzt sind, verringert werden; Neuberechnungen sind erforderlich
Verlegung der WEA	ggf. können die Risiken an Straßen oder Wegen, welche einem hohen Risiko ausgesetzt sind, verringert werden; Neuberechnungen sind erforderlich
Verlegung von Straßen oder Wegen	Straßen oder Wege, welche einem hohen Risiko ausgesetzt sind, können verlegt werden; Neuberechnungen sind i.d.R. erforderlich
Verlegung von Straßen oder Wegen während Perioden mit einer hohen Risikoerwartung	Straßen oder Wege, welche einem hohen Risiko ausgesetzt sind, können während Vereisungsperioden verlegt werden; Neuberechnungen sind i.d.R. erforderlich
Nutzung von Eiserkennungssystemen	Durch die Nutzung von Eiserkennungssystemen kann Eiswurf ausgeschlossen werden und hingegen ausschließlich Eisfall betrachtet werden.
Aufklärung von Anwohnern	Unabhängig vom kalkulierten Risiko sollte diese Maßnahme ergriffen werden, um die Bewohner zu informieren

7 Darstellung der Ergebnisse

7.1 Kumulierung von Risiken

Für eine adäquate Risikobewertung müssen alle Risiken für das Schutzobjekt betrachtet werden, sofern die jeweiligen Risiken als relevant einzustufen sind. Wenn mehrere Risikoquellen auf das Schutzobjekt einwirken, wird das kumulierte Risiko für das Schutzobjekt betrachtet. Grundsätzlich werden alle WEA für das kumulierte Risiko in Erwägung gezogen, deren Risikoeinwirkungszonen sich untereinander und mit dem Schutzobjekt überschneiden [13].

Wenn bei der Risikobewertung der zu untersuchenden WEA ein vernachlässigbares Risikoniveau an dem zu prüfenden Schutzobjekt festgestellt wird, kann für dieses Schutzobjekt die Berücksichtigung weiterer WEA entfallen. Der Risiko-Einfluss befindet sich in einer Größenordnung, die auch bei einem erheblichen, durch die weiteren WEA verursachten Risikoniveau als vernachlässigbar gilt. Eine kumulierte Risikobetrachtung ist in diesem Fall obsolet. Der Vergleich mit den Risikogrenzwerten nach Tabelle 6.1 erfolgt sowohl für das individuelle als auch das kollektive Risiko anhand des Einzelrisikos am Schutzobjekt, ausgehend von der zu untersuchenden WEA.

Ist das von der zu untersuchenden WEA ausgehende Risiko als relevant einzustufen, ist ein wesentlicher Einfluss auf die Bewertung eines kumulierten Risikos am Schutzobjekt nicht auszuschließen. WEA, für die ebenfalls Treffer auf dem Schutzobjekt zu verzeichnen sind, werden in diesem Fall in die Risikobewertung einbezogen und das Risikoniveau als Kumulierung der Einzelrisiken ermittelt. Der Vergleich mit den Risikogrenzwerten nach Tabelle 6.1 erfolgt sowohl für das individuelle als auch das kollektive Risiko anhand des kumulierten Risikowerts.

Für WEA, welche ein Risiko auf eine Straße des überregionalen Verkehrs ausüben (z.B Bundesautobahnen oder Bundesstraßen), bedarf es keiner Kumulierung der Einzelrisiken, da einerseits mit einem auf die gefahrene Strecke bezogenen Risikogrenzwert verglichen wird und andererseits der regionale Charakter eines Windparks, wie er bei Gemeindesstraßen oder anderen regionalen Wegen vorherrscht, nicht gegeben ist.

7.2 Trefferhäufigkeiten und relevante WEA zur Risikobewertung

In der folgenden Abbildung 7.1 sind die Treffer aus der Simulation sowie die für diese WEA zu untersuchenden, in Tabelle 5.2 aufgelisteten Schutzobjekte dargestellt. Die Trefferwahrscheinlichkeit im Umkreis der WEA wird entsprechend der in der Abbildung dargestellten farbigen Skala abgebildet.

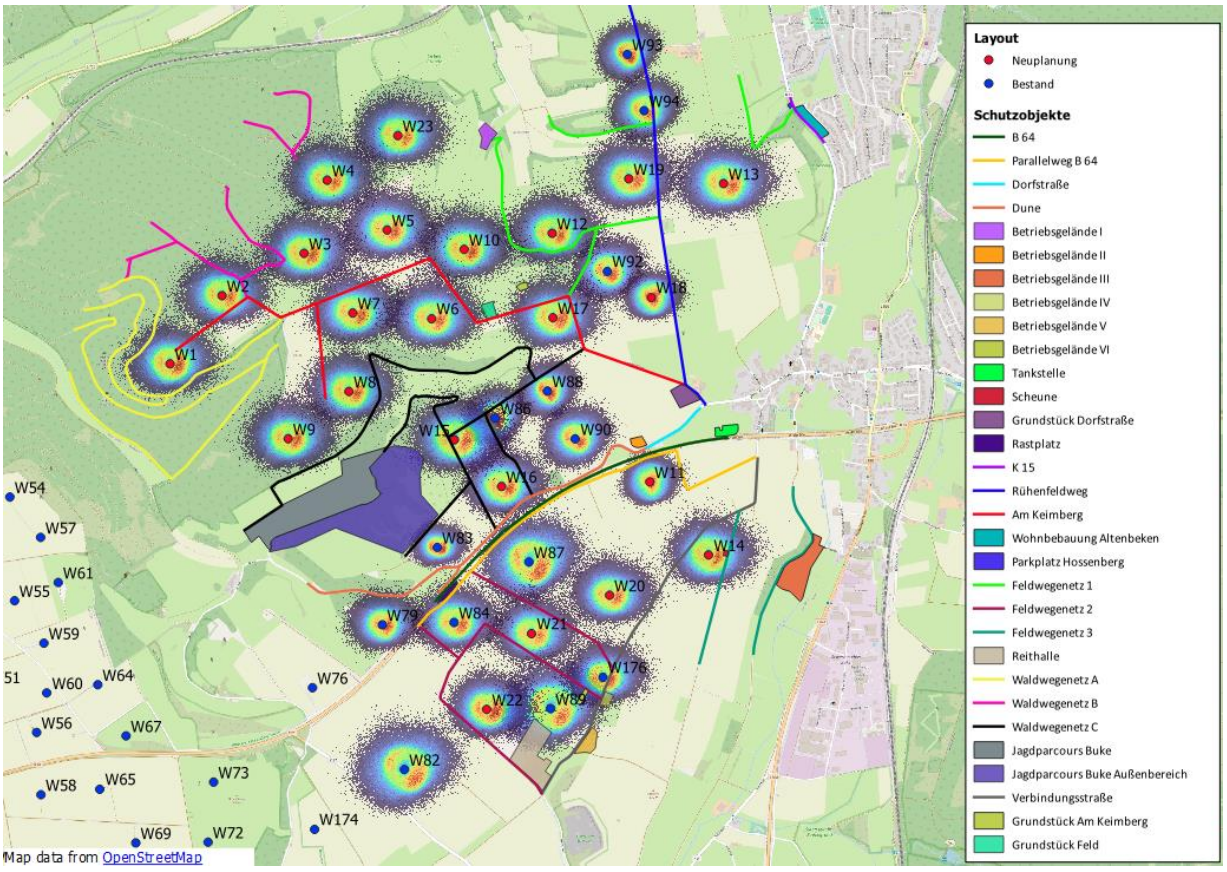

Abbildung 7.1: Berechnete Trefferhäufigkeiten [3.1, 3.3]

Die Tabelle 7.1 fasst die Trefferhäufigkeiten aus Abbildung 7.1 in Form der resultierenden Einzelrisiken zusammen. Dargestellt werden alle identifizierten Schutzobjekte und die jeweils zu untersuchenden WEA. Die Zuordnung zu individuellem oder kollektivem Personenrisiko erfolgt anhand der in Abschnitt 5.1 ermittelten Nutzungsfrequenzen der Schutzobjekte.

Tabelle 7.1: Relevante WEA an den Schutzobjekten

Schutzobjekt	Für Risikobewertung relevante WEA	Individuelles Personenrisiko	Kollektives Personenrisiko
B 64	W11	-	1.58×10^{-7}
	W15	-	keine Treffer
	W16	-	1.84×10^{-7}
	W21	-	keine Treffer
Parallelweg B 64	W11	2.33×10^{-9}	-
	W14	keine Treffer	-
	W15	keine Treffer	-
	W16	1.04×10^{-10}	-
	W21	keine Treffer	-
	W79	2.51×10^{-11}	-
	W83	keine Treffer	-
	W84	5.20×10^{-8}	-
	W87	2.98×10^{-9}	-
	W90	keine Treffer	-
Dorfstraße	W11	keine Treffer	-
Dune	W11	3.56×10^{-10}	-
	W15	keine Treffer	-
	W16	2.70×10^{-8}	-
	W21	keine Treffer	-
	W76	1.46×10^{-8}	-
	W79	9.93×10^{-9}	-
	W83	4.40×10^{-9}	-
	W84	1.10×10^{-9}	-
	W87	1.76×10^{-9}	-
	W90	1.96×10^{-11}	-
Betriebsgelände I	W23	keine Treffer	-
Betriebsgelände II	W11	keine Treffer	-
Betriebsgelände III	W14	keine Treffer	-
Betriebsgelände IV	W20	keine Treffer	-
	W21	keine Treffer	-
Betriebsgelände V	W22	keine Treffer	-
Betriebsgelände VI	W20	keine Treffer	-
	W21	keine Treffer	-
	W22	keine Treffer	-
Tankstelle	W11	keine Treffer	-
Scheune	W14	3.04×10^{-7}	-
Grundstück Dorfstraße	W11	keine Treffer	-
Rastplatz	W21	keine Treffer	-
K 15	W13	-	keine Treffer
Rühenfeldweg	W13	keine Treffer	-
	W18	1.03×10^{-7}	-
	W19	1.55×10^{-7}	-
	W92	keine Treffer	-
	W93	4.04×10^{-7}	-

	W94	1.28×10^{-6}	-
Am Keimberg	W1	2.18×10^{-8}	-
	W2	2.59×10^{-7}	-
	W3	keine Treffer	-
	W5	7.45×10^{-12}	-
	W6	1.88×10^{-9}	-
	W7	6.05×10^{-8}	-
	W8	1.64×10^{-8}	-
	W9	7.45×10^{-12}	-
	W10	6.63×10^{-10}	-
	W12	keine Treffer	-
	W17	7.04×10^{-7}	-
	W18	keine Treffer	-
	W88	keine Treffer	-
	W92	keine Treffer	-
Wohnbebauung Altenbeken	W13	keine Treffer	-
Parkplatz am Hossenberg	W13	keine Treffer	-
Feldwegenetz 1	W10	5.51×10^{-10}	-
	W12	6.67×10^{-7}	-
	W13	1.07×10^{-10}	-
	W17	5.14×10^{-10}	-
	W18	keine Treffer	-
	W19	4.47×10^{-11}	-
	W23	keine Treffer	-
	W92	3.79×10^{-9}	-
	W94	6.38×10^{-8}	-
Feldwegenetz 2	W16	keine Treffer	-
	W20	keine Treffer	-
	W21	1.62×10^{-6}	-
	W22	2.70×10^{-8}	-
	W79	1.26×10^{-10}	-
	W82	keine Treffer	-
	W83	keine Treffer	-
	W84	1.21×10^{-7}	-
	W87	9.01×10^{-9}	-
	W89	1.33×10^{-7}	-
	W176	5.66×10^{-7}	-
Feldwegenetz 3	W14	2.95×10^{-7}	-
Reithalle	W21	keine Treffer	-
	W22	4.86×10^{-9}	-
	W89	8.55×10^{-7}	-
Waldwegenetz A	W1	2.63×10^{-8}	-
	W2	1.49×10^{-11}	-
	W3	keine Treffer	-
	W7	keine Treffer	-
	W8	keine Treffer	-
	W9	2.98×10^{-12}	-

Waldwegenetz B	W1	keine Treffer	-
	W2	3.70×10^{-7}	-
	W3	6.94×10^{-8}	-
	W4	2.23×10^{-10}	-
	W7	keine Treffer	-
	W23	keine Treffer	-
Waldwegenetz C	W6	1.49×10^{-11}	-
	W7	keine Treffer	-
	W8	2.39×10^{-8}	-
	W9	2.09×10^{-10}	-
	W15	2.82×10^{-6}	-
	W16	2.18×10^{-7}	-
	W17	1.49×10^{-10}	-
	W79	keine Treffer	-
	W83	4.50×10^{-8}	-
	W84	keine Treffer	-
	W86	7.62×10^{-7}	-
	W87	1.53×10^{-11}	-
	W88	4.34×10^{-8}	-
	W90	keine Treffer	-
Jagdparcours Buke	W8	keine Treffer	-
	W9	4.34×10^{-10}	-
	W15	keine Treffer	-
Jagdparcours Buke Außenbereich	W8	keine Treffer	-
	W9	keine Treffer	-
	W15	4.39×10^{-9}	-
	W16	keine Treffer	-
	W79	keine Treffer	-
	W83	9.13×10^{-9}	-
	W84	keine Treffer	-
Verbindungsstraße	W11	-	keine Treffer
	W14	-	5.28×10^{-5}
	W20	-	3.82×10^{-9}
	W21	-	keine Treffer
	W22	-	keine Treffer
	W89	-	6.71×10^{-9}
	W176	-	8.28×10^{-5}
Grundstück Am Keimberg	W6	keine Treffer	-
	W10	keine Treffer	-
	W12	keine Treffer	-
	W17	1.04×10^{-7}	-
Grundstück Feld	W6	2.97×10^{-8}	-
	W10	keine Treffer	-
	W12	keine Treffer	-
	W17	5.14×10^{-9}	-

Das Schutzobjekt B 64 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W15 und W21 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W15 und W21 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Parallelweg B 64 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W14 – W16 und W21 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W83 und W90 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W14 – W16 und W21 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W83 und W90 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Dorfstraße liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Dune liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W11, W15 und W21 und die zu berücksichtigenden WEA W76, W83 und W90 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W11, W15 und W21 und die zu berücksichtigende WEA W90 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Betriebsgelände I liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W23 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W23 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Betriebsgelände II liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 und die zu berücksichtigende WEA W90 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Betriebsgelände III liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W14 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W14 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Betriebsgelände IV liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W20 und W21 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W20 und W21 und die zu berücksichtigende WEA W89 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Betriebsgelände V liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W22 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W22 und die zu berücksichtigende WEA W89 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Betriebsgelände VI liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W20 – W22 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W20 – W22 und die zu berücksichtigende WEA W89 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Tankstelle liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Grundstück Dorfstraße liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W11 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Rastplatz liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W21 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W21 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W83, W84 und W87 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt K 15 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Rühenfeldweg liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 und die zu berücksichtigende WEA W92 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 und die zu berücksichtigende WEA W92 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Am Keimberg liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W3, W5, W9, W10, W12, W18 und die zu berücksichtigenden WEA W88 und W92 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W3, W5, W9, W10, W12, W18 und die zu berücksichtigenden WEA W88 und W92 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Wohnbebauung Altenbeken liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Parkplatz am Hossenberg liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W13 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Feldwegenetz 1 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W10, W13, W17, W18, W19 und W23 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W10, W13, W17, W18, W19 und W23 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Feldwegenetz 2 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W16 und W20 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W82 und W83 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W16 und W20 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W82 und W83 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Reithalle liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W21 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchende WEA W21 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Waldwegenetz A liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W2, W3, W7, W8 und W9 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W2, W3, W7, W8 und W9 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Waldwegenetz B liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W1, W4, W7 und W23 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W1, W4, W7 und W23 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Waldwegenetz C liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W6, W7, W9 und W17 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W84, W86, W87, W88 und W90 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W6, W7, W9 und W17 und die zu berücksichtigenden WEA W79, W84, W87 und W90 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Jagdparcours Buke liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W8, W9 und W15 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W8, W9 und W15 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Jagdparcours Buke Außenbereich liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W8, W9 und W16 und die zu berücksichtigenden WEA W79 und W84 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W8, W9 und W16 und die zu berücksichtigenden WEA W79 und W84 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Verbindungsstraße liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W11, W20 – W22 und die zu berücksichtigende WEA W89 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W11, W20 – W22 und die zu berücksichtigende WEA W89 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Grundstück Am Keimberg liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W6, W10 und W12 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W6, W10 und W12 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Grundstück Feld liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W10 und W12 verzeichnet, sodass das resultierende Risiko durch diese WEA als nicht signifikant eingestuft werden kann. Daher werden gemäß Abschnitt 7.1 die Treffer durch die zu untersuchenden WEA W10 und W12 als nicht relevant bewertet.

7.3 Ergebnisse Risikobewertung

Für die ermittelten Schutzobjekte wurden die Risiken durch Eiswurf bzw. Eisfall für sich im Gefahrenbereich aufhaltende Personen ermittelt. Für Schutzobjekte mit einer angenommenen Frequentierung von unter 100 Personen/Tag wird das individuelle Risko als Bewertungsgrundlage herangezogen, bei einer Frequentierung von mehr als 100 Personen/Tag ist das kollektive Risiko als Bewertung herangezogen worden. Sofern von den zu bewertenden WEA ein signifikantes Risiko ausgeht, wird in der folgenden Tabelle 7.2 das individuelle oder das kollektive Risiko aller zu bewertenden sowie zusätzlich betrachteten WEA ausgewiesen. Sollte von einer zu untersuchenden WEA kein signifikantes Risiko für ein Schutzobjekt ausgehen, wird das durch weitere WEA an diesem Schutzobjekt verursachte Risiko keiner Bewertung unterzogen, und deren Einfluss als nicht relevant angesehen.

Die in der Tabelle 7.2 dargestellten Ergebnisse bewerten das Risiko hinsichtlich Eisfall, da vorausgesetzt wird, dass an den zu bewertenden WEA W1 – W23 ein funktionsfähiges Eiserkennungssystem verbaut wird. Sofern risikomindernde Maßnahmen empfohlen werden, werden diese detailliert im Abschnitt Tabelle 7.1 dargestellt.

Tabelle 7.2: Darstellung der Ergebnisse für die Schutzobjekte

Schutzobjekt	Berücksichtigte WEA	Als relevant eingestufte WEA	Individuelles Personenrisiko	Kollektives Personenrisiko	Risikobewertung	Empfohlene risikomindernde Maßnahme
B 64	W11, W15, W16, W21	W11, W16	-	3.42×10^{-7}	akzeptables Risiko	-
Parallelweg B 64	W11, W14, W15, W16, W21, W79, W83, W84, W87, W90	W11, W84, W87	5.73×10^{-8}	-	akzeptables Risiko	-
Dorfstraße	W11	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Dune	W11, W15, W16, W21, W76, W79, W83, W84, W87, W90	W16, W79, W84, W87	3.35×10^{-8}	-	akzeptables Risiko	-
Betriebsgelände I	W23	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Betriebsgelände II	W11, W90	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Betriebsgelände III	W14	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Betriebsgelände IV	W20, W21, W89	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Betriebsgelände V	W22, W89	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Betriebsgelände VI	W20, W21, W22, W89	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Tankstelle	W11	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Scheune	W14	W14	3.04×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Grundstück Dorfstraße	W11	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Rastplatz	W21, W79, W83, W84, W87	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
K 15	W13	-	-	$< 10^{-7}$	nicht signifikantes Risiko	-
Rühenfeldweg	W13, W18, W19, W92, W93, W94	W18, W19, W93, W94	1.94×10^{-6}	-	(oberes) tolerierbares Risiko	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Am Keimberg	W1, W2, W3, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W12, W17, W18, W88, W92	W1, W2, W6, W7, W8, W17	1.06×10^{-6}	-	(oberes) tolerierbares Risiko	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Wohnbebauung Altenbeken	W13	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Parkplatz am Hossenberg	W13	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Feldwegenetz 1	W10, W12, W13, W17, W18, W19, W23, W92, W94	W12, W92, W94	6.67×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-

Feldwegenetz 2	W16, W20, W21, W22, W79, W82, W83, W84, W87, W89, W176	W21, W22, W84, W87, W89, W176	2.48×10^{-6}	-	(oberes) tolerierbares Risiko	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Feldwegenetz 3	W14	W14	2.95×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Reithalle	W21, W22, W89	W22, W89	8.59×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Waldwegenetz A	W1, W2, W3, W7, W8, W9	W1	2.63×10^{-8}	-	akzeptables Risiko	-
Waldwegenetz B	W1, W2, W3, W4, W7, W23	W2, W3	4.40×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Waldwegenetz C	W6, W7, W8, W9, W15, W17, W79, W83, W84, W86, W87, W88, W90	W8, W15, W16, W83, W86, W88	3.87×10^{-6}	-	(oberes) tolerierbares Risiko	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Jagdparcours Buke	W8, W9, W15	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Jagdparcours Buke Außenbereich	W8, W9, W15, W16, W79, W83, W84	W15, W83	1.35×10^{-8}	-	akzeptables Risiko	-
Verbindungsstraße	W11, W14, W20, W21, W22, W89, W176	W14, W176	-	1.09×10^{-4}	(oberes) tolerierbares Risiko	Azimutfixierung nach erfolgter Eiserkennung
Grundstück Am Keimberg	W6, W10, W12, W17	W17	1.04×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Grundstück Feld	W6, W10, W12, W17	W6, W17	4.47×10^{-8}	-	akzeptables Risiko	-

Die folgende Tabelle 7.3 weist die Ergebnisse zur maximalen Flugweite der Eisstücke, ausgehend von den zu untersuchenden WEA, die sich aus den Simulationen ergeben, aus. Diese Ergebnisse sind rein informativ und fließen nicht in die Risikobewertung ein.

Tabelle 7.3: Ergebnisse maximale Flugweite

WEA	Maximale Flugweite eines Eisstücks [m]
W1	325
W2	351
W3	376
W4	357
W5	371
W6	362
W7	425
W8	387
W9	355
W10	398
W11	227
W12	388
W13	434
W14	425
W15	405
W16	325
W17	369
W18	226
W19	403
W20	357
W21	372
W22	353
W23	355

7.4 Detaillierte Darstellung risikomindernde Maßnahmen

Die folgende Tabelle 7.4 weist die empfohlenen risikomindernden Maßnahmen aus, welche sich aus der Bewertung der Schutzobjekte ergeben.

Tabelle 7.4: Risikomindernde Maßnahmen

Schutzobjekt	Risiko verursachende WEA	Empfohlene risikomindernde Maßnahmen
Rühenfeldweg	W18	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
	W19	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
	W93	-
	W94	-
Am Keimberg	W1	-
	W2	-
	W6	-
	W7	-
	W8	-
	W17	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Feldwegenetz 2	W21	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
	W22	-
	W84	-
	W87	-
	W89	-
	W176	-
Waldwegenetz C	W8	-
	W15	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
	W16	-
	W83	-
	W86	-
	W88	-
Verbindungsstraße	W14	Azimutfixierung nach erfolgter Eiserkennung
	W176	-

Im Rahmen der Begutachtung der geplanten WEA wurde festgestellt, dass bei Vereisungsbedingungen ein erhöhtes Risiko für angrenzende Schutzobjekte durch Eiswurf bzw. Eisfall besteht. Zur Verringerung dieses Risikos wird empfohlen, diese WEA nach detektiertem Eisansatz zusätzlich in einem Azimutwinkel gemäß Tabelle 7.5 zu fixieren.

Tabelle 7.5: Risikomindernde Maßnahmen

Schutzobjekt	Risiko verursachende WEA	Azimutwinkel [°]
Verbindungsweg	W14	51
	W176	-

7.4.1 Detaillierte Darstellung risikomindernde Maßnahmen hinsichtlich Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall

Die Untersuchung hat ergeben, dass für die Schutzobjekte Rühenfeldweg, Am Keimberg, Feldwegenetz 2 und Waldwegenetz C ein (oberes) tolerierbares Risikoniveau besteht. Um unbeteiligte dritte Personen auf die Risiken aufmerksam zu machen, wird empfohlen, Warnzeichen für Eiswurf und Eisfall im Bereich des signifikanten Einflusses zu errichten. Durch die standortspezifische Simulation wird für jede WEA ein Bereich des signifikanten Einflusses ermittelt und in den folgenden Abbildungen die daraus resultierenden Standorte der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W15, W17, W18, W19 und W21 dargestellt. Bei der Positionierung der Warnschilder handelt es nicht um eine feste Vorgabe des Errichtungsstandorts. Die Symbole auf der Karte sind jeweils am Randbereich des signifikanten Einflusses positioniert.

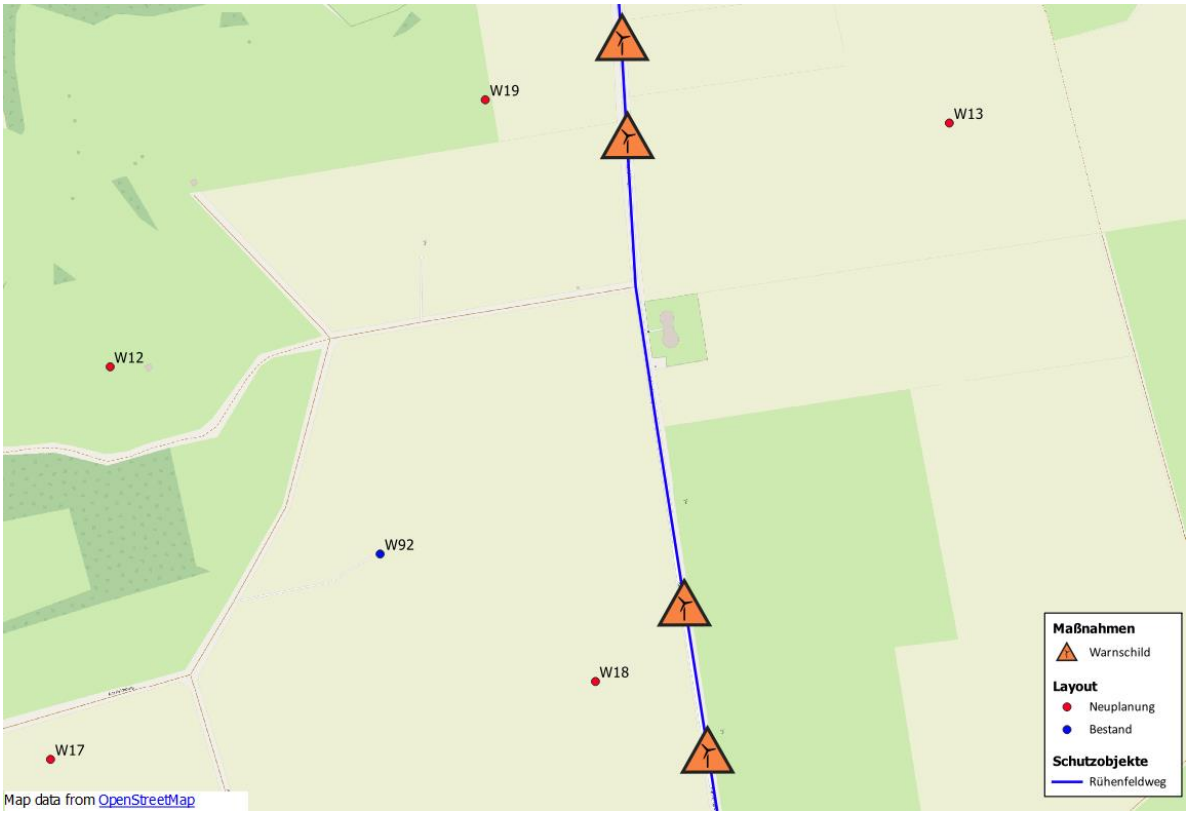

Abbildung 7.2: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W18 und W19

Abbildung 7.3: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W17

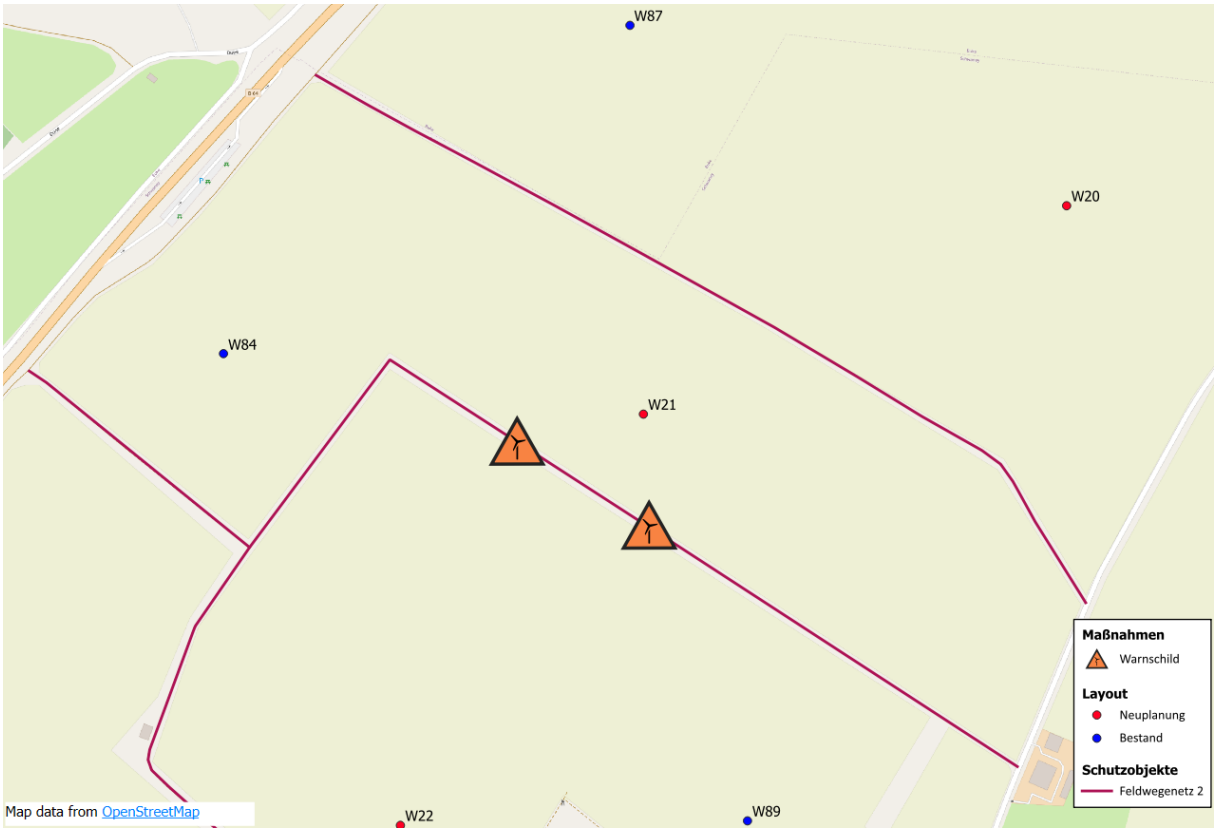

Abbildung 7.4: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W21

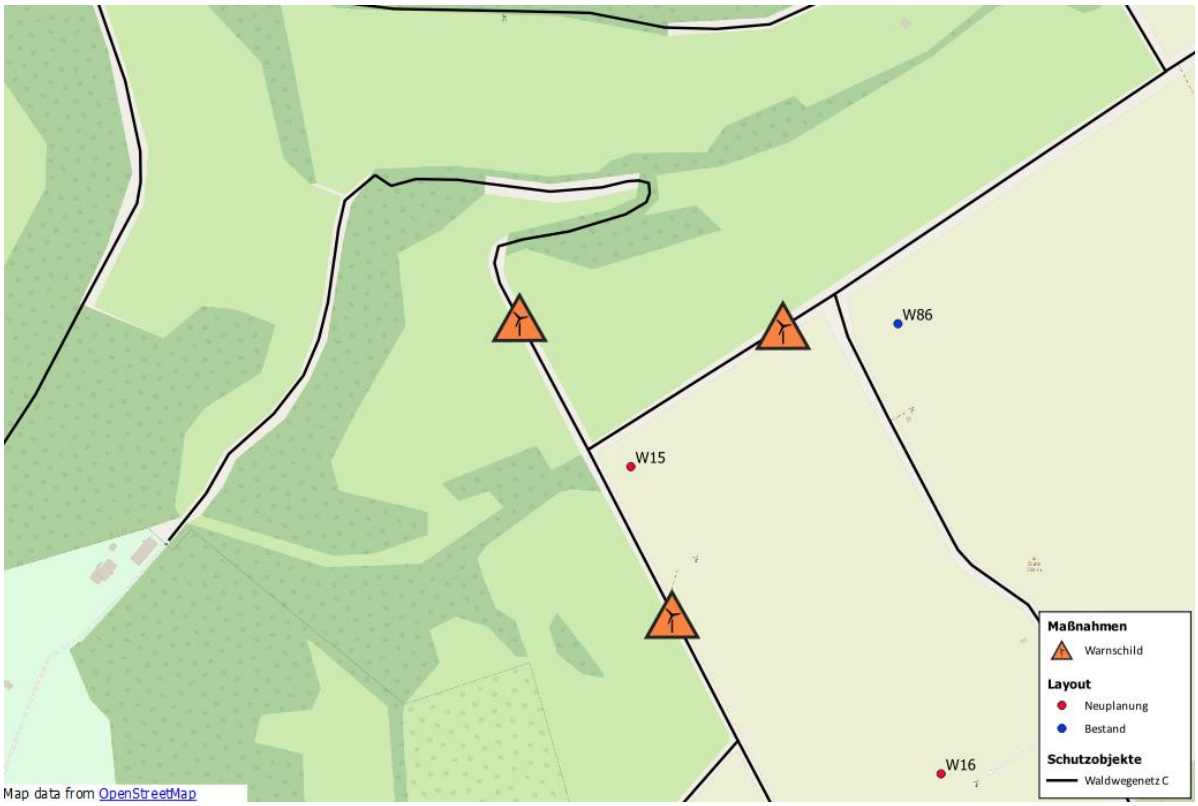

Abbildung 7.5: Detaillierte Darstellung der Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall im Einflussbereich der WEA W15

8 Zusammenfassung

Im Rahmen der Risikoanalyse hinsichtlich Eiswurf bzw. Eisfall für den untersuchten Windpark wurde die vom Kunden übermittelte Windparkkonfiguration hinsichtlich des Risikos durch Eiswurf bzw. Eisfall überprüft. Informationen zu den aufgeführten Schutzobjekten sind in Abschnitt 3.5 zu finden.

Für die in die Berechnungen einbezogenen WEA W1 – W23 wurde zugrunde gelegt, dass die WEA mit einem funktionsfähigen Eisabschaltungssystem betrieben werden. Daher wird Eiswurf für diese WEA ausgeschlossen und eine Risikobewertung hinsichtlich Eisfall durchgeführt.

8.1 Bewertungsprozess

Für die zu untersuchenden WEA wurden die folgenden zu berücksichtigenden Schutzobjekte ermittelt:

- Für das Schutzobjekt B 64 wurden die WEA W11, W15, W16 und W21 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W15 und W21 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W11 und W16 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Parallelweg B 64 wurden die WEA W11, W14 - W16, W21, W79, W83, W84, W87 und W90 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W14 - W16, W21, W79, W83 und W90 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W11, W84 und W87 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Dorfstraße wurde die WEA W11 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W11 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Dune wurden die WEA W11, W15, W16, W21, W76, W79, W83, W84, W87 und W90 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W11, W15, W21 und W90 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W16, W79, W84 und W87 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Betriebsgelände I wurde die WEA W23 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W23 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Betriebsgelände II wurden die WEA W11 und W90 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W11 und W90 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Betriebsgelände III wurden die WEA W14 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W14 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Betriebsgelände IV wurden die WEA W20, W21 und W89 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W20, W21 und W89 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Betriebsgelände V wurden die WEA W22 und W89 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W22 und W89 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Betriebsgelände VI wurden die WEA W20 - W22 und W89 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W20 - W22 und W89 als nicht relevant

eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.

- Für das Schutzobjekt Tankstelle wurde die WEA W11 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W11 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Scheune wurde die WEA W14 berücksichtigt. Alle berücksichtigten WEA wurden für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Grundstück Dorfstraße wurde die WEA W11 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W11 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Rastplatz wurden die WEA W21, W79, W83, W84 und W87 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W21, W79, W83, W84 und W87 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt K 15 wurde die WEA W13 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W13 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Rühenfeldweg wurden die WEA W13, W18, W19, W92, W93 und W94 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W13 und W92 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W18, W19, W93 und W94 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Am Keimberg wurden die WEA W1 – W3, W5, W6 – W10, W12, W17, W18, W88 und W92 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W3, W5, W9, W10, W12, W18, W88 und W92 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W1, W2, W6 – W8 und W17 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Wohnbebauung Altenbeken wurde die WEA W13 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W13 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Parkplatz am Hossenberg wurde die WEA W13 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W13 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Feldwegenetz 1 wurden die WEA W10, W12, W13, W17 – W19, W23, W92 und W94 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W10, W13, W17, W18, W19 und W23 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W12, W92 und W94 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Feldwegenetz 2 wurden die WEA W16, W20 – W22, W79, W82, W83, W84, W87, W89 und W176 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W16, W20, W79, W82 und W83 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W21, W22, W84, W87, W89 und W176 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Feldwegenetz 3 wurde die WEA W14 berücksichtigt. Alle berücksichtigten WEA wurden für die finale Risikobewertung herangezogen.

- Für das Schutzobjekt Reithalle wurden die WEA W21, W22 und W89 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W21 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die WEA W22 und W89 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Waldwegenetz A wurden die WEA W1 – W3 und W7 – W9 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W2, W3 und W7 – W9 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die WEA W1 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Waldwegenetz B wurden die WEA W1 – W4, W7 und W23 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W1, W4, W7 und W23 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W2 und W3 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Waldwegenetz C wurden die WEA W6 – W9, W15 – W17, W79, W83, W84, W86 – W88 und W90 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W6, W7, W9, W17, W79, W84, W87 und W90 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W8, W15, W16, W83, W86 und 88 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Jagdparcours Buke wurden die WEA W8, W9 und W15 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W8, W9 und W15 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Jagdparcours Buke Außenbereich wurden die WEA W8, W9, W15, W16, W79, W83 und W84 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W8, W9, W16, W79 und W84 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die WEA W15 und W83 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Verbindungsstraße wurden die WEA W11, W14, W20 – W22, W89 und W176 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W11, W20 – W22 und W89 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W14 und W176 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Grundstück Am Keimberg wurden die WEA W6, W10, W12 und W17 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W6, W10 und W12 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die WEA W17 für die finale Risikobewertung herangezogen.
- Für das Schutzobjekt Grundstück Feld wurden die WEA W6, W10, W12 und W17 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W10 und W12 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W6 und W17 für die finale Risikobewertung herangezogen.

8.2 Abschließende Bewertung der Schutzobjekte

Für die Schutzobjekte Dorfstraße, Betriebsgelände I, Betriebsgelände II, Betriebsgelände III, Betriebsgelände IV, Betriebsgelände V, Betriebsgelände VI, Tankstelle, Grundstück Dorfstraße, Rastplatz, K 15, Wohnbebauung Altenbeken, Parkplatz am Hossenberg und Jadgparcours Buke besteht kein signifikantes Risiko durch die betrachteten WEA.

Für die Schutzobjekte B 64, Jagdparcours Buke Außenbereich, Parallelweg B 64, Dune Waldwegenetz A und Grundstück Feld wurde ein akzeptables Risiko berechnet. Risikomindernde Maßnahmen werden nicht empfohlen.

Für die Schutzobjekte, Scheune, Feldwegenetz 1, Feldwegenetz 3, Reithalle, Waldwegenetz B und Grundstück Am Keimberg wurde ein (unteres) tolerierbares Risiko berechnet. Risikomindernde Maßnahmen werden nicht empfohlen.

Für die Schutzobjekte Rühenfeldweg, Am Keimberg, Verbindungsstraße, Feldwegenetz 2 und Waldwegenetz C wurde ein (oberes) tolerierbares Risiko berechnet. Es werden risikomindernde Maßnahmen gemäß Tabelle 7.4 empfohlen.

Die folgende Tabelle 8.1 stellt die Ergebnisse der für die zu untersuchenden WEA ermittelten Schutzobjekte zusammenfassend dar.

Tabelle 8.1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Schutzobjekt	Relevante WEA	Risikobewertung	Ist die Risikobewertung bezüglich Eiswurf bzw. Eisfall positiv ausgefallen?	Empfohlene risikomindernde Maßnahmen
B 64	W11, W16	akzeptables Risiko	Ja	-
Parallelweg B 64	W11, W84, W87	akzeptables Risiko	Ja	-
Dorfstraße	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Dune	W16, W79, W84, W87	akzeptables Risiko	Ja	-
Betriebsgelände I	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Betriebsgelände II	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Betriebsgelände III	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Betriebsgelände IV	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Betriebsgelände V	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Betriebsgelände VI	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Tankstelle	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Scheune	W14	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Grundstück Dorfstraße	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Rastplatz	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
K 15	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Rühenfeldweg	W18, W19, W93, W94	(oberes) tolerierbares Risiko	Ja, siehe Abschnitt 7.4	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Am Keimberg	W1, W2, W6, W7, W8, W17	(oberes) tolerierbares Risiko	Ja, siehe Abschnitt 7.4	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Wohnbebauung Altenbeken	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Parkplatz am Hossenberg	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Feldwegenetz 1	W12, W92, W94	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Feldwegenetz 2	W21, W22, W84, W87, W89, W176	(oberes) tolerierbares Risiko	Ja, siehe Abschnitt 7.4	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Feldwegenetz 3	W14	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Reithalle	W22, W89	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Waldwegenetz A	W1	akzeptables Risiko	Ja	-
Waldwegenetz B	W2, W3	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Waldwegenetz C	W8, W15, W16, W83, W86, W88	(oberes) tolerierbares Risiko	Ja, siehe Abschnitt 7.4	Warnzeichen für Eiswurf bzw. Eisfall
Jagdparcours Buke	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Jagdparcours Buke Außenbereich	W15, W83	akzeptables Risiko	Ja	-
Verbindungsstraße	W14, W176	(oberes) tolerierbares Risiko	Ja	Azimutfixierung nach erfolgter Eiserkennung
Grundstück Am Keimberg	W17	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Grundstück Feld	W6, W17	akzeptables Risiko	Ja	-

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem von 1989
Fz.	Fahrzeuge
MEM	Minimale endogene Mortalität
UTM	Universal Transverse Mercator Projection
WEA	Windenergieanlage
WGS84	World Geodetic System (letzte Revision in 2004)
WV	Windverteilung
GK	Gauß-Krüger

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Skalenparameter der Weibullverteilung	[m/s]
C_D	Strömungswiderstandskoeffizient des Eisstücks	[-]
D	Rotordurchmesser	[m]
h_{WV}	Höhe der Windbedingungen / Windverteilung über Grund	[m]
FEH	Fundamenterhöhung	[m]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
NH	Nabenhöhe	[m]
M	Masse des Eisstücks	[kg]
p	Sektorielle Häufigkeit	[%]
P_N	Nennleistung	[kW]
R_{ind}	Grenzwert Individualrisiko	[Todesfälle/Jahr]
R_{koll}	Grenzwert Kollektivrisiko	[Schwere Unfälle/km * Jahr]
v_{hub}	Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
$\bar{V}(z)$	Windgeschwindigkeit auf Höhe des Eisstücks	[m/s]
X	Rechtswert des kartesischen Koordinatensystems	[m]
Y	Hochwert des kartesischen Koordinatensystems	[m]
x_0	Startposition des Eisstücks in x-Richtung des Wurfkoordinatensystems	[m]
y_0	Startposition des Eisstücks in y-Richtung des Wurfkoordinatensystems	[m]
z_0	Startposition des Eisstücks in z-Richtung des Wurfkoordinatensystems	[m]
V_x	Startgeschwindigkeit des Eisstücks in x-Richtung des Wurfkoordinatensystems	[m/s]
V_y	Startgeschwindigkeit des Eisstücks in y-Richtung des Wurfkoordinatensystems	[m/s]
V_z	Startgeschwindigkeit des Eisstücks in z-Richtung des Wurfkoordinatensystems	[m/s]
α	Höhenexponent	[-]
ρ	Luftdichte	[kg/m³]

Literaturverzeichnis

[1] *IEA Wind TCP, Task 19 Wind Energy in Cold Climates; Technical Report International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; April 2022;*

[2] *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG);*

[3.1] *OpenStreetMap und Mitwirkende; SRTM | Kartendarstellung: OpenTopoMap (CC-BY-SA); Siehe auch: https://creativecommons.org;*

[3.2] *Microsoft Corporation; © 2019 Digital Globe © CNES (2019) Distribution Airbus DS; Siehe auch: https://www.microsoft.com/en-us/maps/product;*

[3.3] *OpenStreetMap, © OpenStreetMap, www.openstreetmap.org/copyright*

[4] *Wichura; (2013);The Spatial Distrubution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurement of Icing; IWAIS;*

[5] *Cattin; ALPINE TEST SITE GUETSCH HANDBUCH UND FACHTAGUNG Schlussbericht; 31.12.2008;*

[6] *Cattin, René et. al. (2008). TWO YEARS OF MONITORING OF A WIND TURBINE UNDER ICING CONDITIONS;*

[7] *International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61400-1. Wind Energy Generation Systems - Part 1: Design requirements.; 2018;*

[8] *DIN EN 50126 - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit (RAMS), März 2000;*

[9] *ISO 12100:2010 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung März 2011;*

[10] *Ostermann et. al (2004); BETRACHTUNGEN ZUR RISIKOANALYSE IM EISENBAHNBAU; Institutsheft 32, S. 19 – 23;*

[11] *Statistisches Bundesamt (Destatis); Verkehr Verkehrsunfälle Fachserie 8 Reihe 7; 07.07.2022;*

[12] *Kalberlah, F., Bloser, M., & Wachholz, C. (2005). Toleranz- und Akzeptanzschwelle für Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz, BAuA Forschung Projekt F 2010. Dortmund/Berlin/Dresden: Federal Institue for Occupational Safety and Health.*

[13] *Bundesanstalt für Straßenwesen. (2017). Fahrleistungserhebung 2014 - Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Verkehrstechnik Heft V 291.Bergisch Gladbach.*

[14] *Amtliche Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 2023/1 (MVV TB 2023/1) mit Druckfehlerberichtigung vom 10. Mai 2023; Ausgabe 2; 17. April 2023;*

[15] *Deutscher Wetterdienst (DWD); Open Data Server des DWD (https://opendata.dwd.de); Index of /climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/ice_days/; Datei: grids_germany _multi_annual_ice_days_1991-2020_17.asc; Letzter Zugriff: 23.04.2024;*

[16] *Biswas, S.; Taylor, P. and Salmon; J. (2012), A model of ice throw trajectories from wind turbines. Wind Energ., 15: 889-901.;*

[17] *Herry, M. et.al. (2011); Verkehr in Zahlen. Wien: Bundesministerium für Verkehr; Innovation und Technologie;*

[18] *Kalberlah et al. (2005); Toleranz- und Akzeptanzschwelle für Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz; Forschung Projekt F 2010;*

[19.1] *ENERCON GmbH; Technische Beschreibung Anhalten der Windenergieanlage ENERCON Windenergieanlagen; D0630561/4.1-de; 03.11.2023;*

[19.2] *Vestas Wind Systems A/S; RPM Curves EnVentus™ V172-7.2 MW 50/60 Hz; Document no.: 0124-6634 V04; 08.07.2022;*

[20.1] *energieplan Ost West, 2026-01-13_Bestands-WEA-KreisPB_MG.xlsx, übermittelt per E-Mail mit dem Betreff: „WG: Buke-Süd“ vom 15.01.2026; 2026-01-13_Bestands-WEA-KreisPB.xlsx, übermittelt mit einer weiteren E-Mail mit dem Betreff: „AW: Buke-Süd“ vom 15.01.2026*

[20.2] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Standortgenaue Berechnung des langjährigen mittleren Windpotenzials am Standort Buke-Süd – Werte für Temperaturkriterium 1.0 °C; 2025-09-15-093219-214753;*

[20.3] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Standortgenaue Berechnung des langjährigen mittleren Windpotenzials am Standort Buke-Süd – Werte für Temperaturkriterium 1.0 °C; 2025-09-15-093503-884769;*

[20.4] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Standortgenaue Berechnung des langjährigen mittleren Windpotenzials am Standort Buke-Süd – Werte für Temperaturkriterium 1.0 °C; 2025-09-15-093600-890070;*