



Gutachten zum Eiswurf und Eisfall an Windenergieanlagen

im Windpark Zwei Gipfel V

Deutschland

Bericht-Nr.: I17-EW-2025-135

Gutachten zum Eiswurf und Eisfall an Windenergieanlagen
im Windpark Zwei Gipfel V

Bericht-Nr.: I17-EW-2025-135

Auftraggeber: AEZ Planungs GmbH & Co. KG
Straße des Friedens 34c
D-06682 Teuchern

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: 29. August 2025

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	29.08.2025	Erste Ausgabe	Ewert

Verfasser:

B. Sc. Daniel Ewert
Husum, 29.08.2025



Geprüft:

B. Sc. Lukas Drescher, Sachverständiger
Husum, 04.09.2025



Freigegeben:

B. Sc. Daniel Ewert
Husum, 05.09.2025



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.....	7
1.1	Allgemeines.....	7
1.2	Geführte Nachweise.....	7
2	Aufgabenstellung und Standort.....	8
2.1	Windparklayout.....	8
2.2	Zu Grunde gelegte Windverhältnisse.....	14
3	Standortanalyse.....	16
3.1	Vereisungspotenzial.....	16
3.2	Eiswurf und Eisfall.....	17
3.3	Eiserkennungssysteme.....	17
3.4	Berechnung der Flugbahnen.....	19
3.4.1	Simulation der Flugbahnen.....	19
3.4.2	Randbedingungen.....	20
3.5	Ermittlung der zu untersuchenden Gefährdungszonen.....	21
4	Gültigkeit der Ergebnisse.....	26
5	Einordnung der Schutzobjekte.....	27
5.1	Expositionszeiten.....	27
5.2	Wirkungsbereich der einfallenden Eisstücke.....	29
5.3	Eisenbahnstrecken innerhalb der Gefährdungszone.....	29
6	Risikobewertungskriterien.....	30
6.1	MEM-Prinzip.....	30
6.2	Festlegen der Grenzwerte für das Individualrisiko.....	30
6.3	Festlegen der Grenzwerte für das Kollektivrisiko.....	31
6.4	ALARP-Prinzip.....	31
6.5	Zusammenfassung der Grenzwerte für die Risikoanalyse.....	32
6.6	Risikomindernde Maßnahmen.....	32
7	Darstellung der Ergebnisse.....	34
7.1	Kumulierung von Risiken.....	34
7.2	Trefferhäufigkeiten und relevante WEA zur Risikobewertung.....	35
7.3	Ergebnisse Risikobewertung.....	42
8	Zusammenfassung.....	45
8.1	Bewertungsprozess.....	45
8.2	Abschließende Bewertung der Schutzobjekte.....	46
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	48
	Literaturverzeichnis.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Übersicht); Kartenmaterial: [3.1, 3.2].....	12
Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detailansicht); Kartenmaterial: [3.1, 3.2]	13
Abbildung 3.1 :Zu untersuchende Gefährdungszonen [3.1, 3.3].....	22
Abbildung 3.2 :Zu untersuchende Gefährdungszonen (Detailansicht Nord) [3.1, 3.3]	23
Abbildung 3.3 :Zu untersuchende Gefährdungszonen (Detailansicht Süd) [3.1, 3.3]	24
Abbildung 6.1: Übersicht der definierten Risikoakzeptanzbereiche nach dem ALARP-Prinzip [12].....	31
Abbildung 7.1: Berechnete Trefferhäufigkeiten Nord [3.1, 3.3]	35
Abbildung 7.2: Berechnete Trefferhäufigkeiten Süd [3.1, 3.3]	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration [20.1].....	9
Tabelle 2.2: Windverhältnisse am Standort WV 1/1 [20.2]	14
Tabelle 2.3: Windverhältnisse am Standort WV 2/1 [20.3]	15
Tabelle 2.4: Windverhältnisse am Standort WV 3/1 [20.4]	15
Tabelle 3.1: Zugrunde gelegte Vereisungstage am Standort	16
Tabelle 3.2: Anzahl der betrachteten Eisstücke am Standort pro Jahr	17
Tabelle 3.3: Zu untersuchende Schutzobjekte.....	25
Tabelle 5.1: Nutzungskategorien von Wegen	27
Tabelle 5.2: Nutzungshäufigkeiten der Schutzobjekte	28
Tabelle 6.1: Risikogrenzwerte in Anlehnung an das ALARP-Prinzip.....	32
Tabelle 6.2: Maßnahmen zu Risikominderung	32
Tabelle 6.3: Weiterführende Maßnahmen zur Risikoreduzierung	33
Tabelle 7.1: Relevante WEA an den Schutzobjekten	37
Tabelle 7.2: Darstellung der Ergebnisse für die Schutzobjekte	43
Tabelle 7.3: Ergebnisse maximale Flugweite	44
Tabelle 8.1: Zusammenfassung der Ergebnisse.....	47

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 $1.5 \times (RD + NH)$ 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 dargestellten WEA zu erstellen. Der Auftraggeber plant die Errichtung von neun WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2 / 7000 kW auf 175.0 m Nabenhöhe, acht WEA des Typs Enercon E-160 EP5 E3 / 5.560 kW auf 166.6 m Nabenhöhe sowie drei WEA des Typs Enercon E-138 EP3 E3 / 4.260 kW auf 160.0 m Nabenhöhe am Standort Zwei Gipfel in Sachsen-Anhalt.

Untersucht wird das durch den Betrieb der WEA W1 – W20 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 Bestands-WEA 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

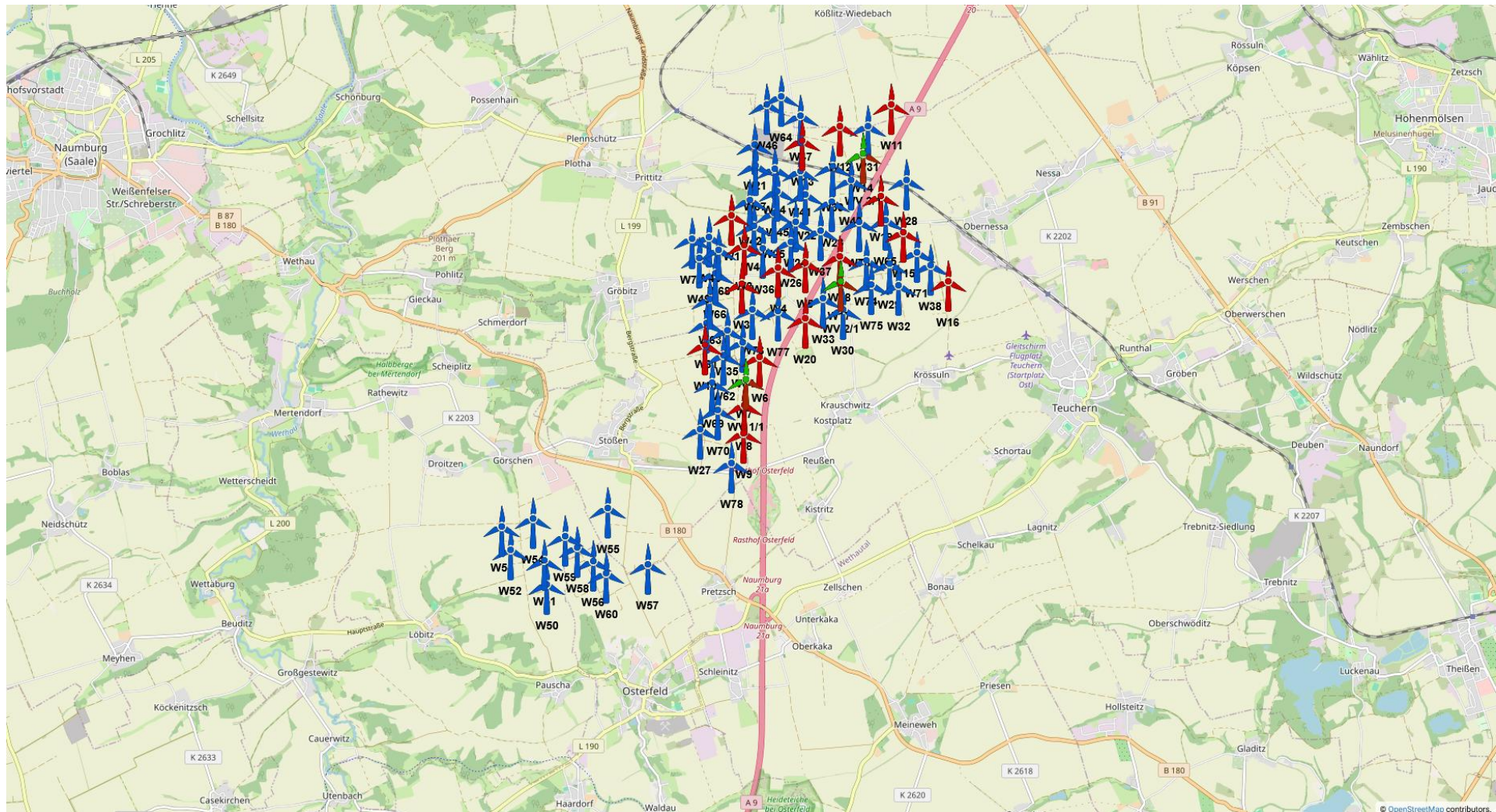
In der folgenden Tabelle 2.1 wird die vom Kunden in [20.1] übermittelte, zu untersuchende Windparkkonfiguration dargestellt.

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	WEA N01	Neu	706284	5669775	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W2	WEA N02	Neu	706485	5669343	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4260	WV 2/1
W3	WEA N03	Neu	706472	5668766	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 2/1
W4	WEA N04	Neu	707007	5669019	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 2/1
W5	WEA N05	Neu	707407	5669115	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 2/1
W6	WEA N06	Neu	706783	5667684	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W7	WEA N07	Neu	706588	5667345	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W8	WEA N08	Neu	706582	5666952	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W9	WEA N09	Neu	706591	5666530	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 1/1
W10	WEA N10	Neu	705960	5667828	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4260	WV 1/1
W11	WEA N11	Neu	708605	5671518	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 3/1
W12	WEA N12	Neu	707845	5671172	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 3/1
W13	WEA N13	Neu	707292	5670929	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 3/1
W14	WEA N14	Neu	708214	5670773	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 3/1
W15	WEA N15	Neu	708860	5669631	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4260	WV 3/1
W16	WEA N16	Neu	709558	5668918	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W17	WEA N17	Neu	707954	5668858	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 2/1
W18	WEA N18	Neu	707918	5669223	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W19	WEA N19	Neu	708502	5670150	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	175.0	Trudelbetrieb	0.0	7000	WV 3/1
W20	WEA N20	Neu	707441	5668283	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W21	WEA 01	Bestand	706586	5670842	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4260	WV 3/1
W22	WEA 04	Bestand	707365	5670127	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 3/1
W23	WEA 05	Bestand	707776	5670039	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 2/1
W24	WEA 06	Bestand	707237	5669719	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 2/1
W25	WEA 13N	Bestand	706907	5669833	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 2/1
W26	WEA 14N	Bestand	707180	5669410	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 2/1
W27	WEA 15N	Bestand	705934	5666570	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 1/1

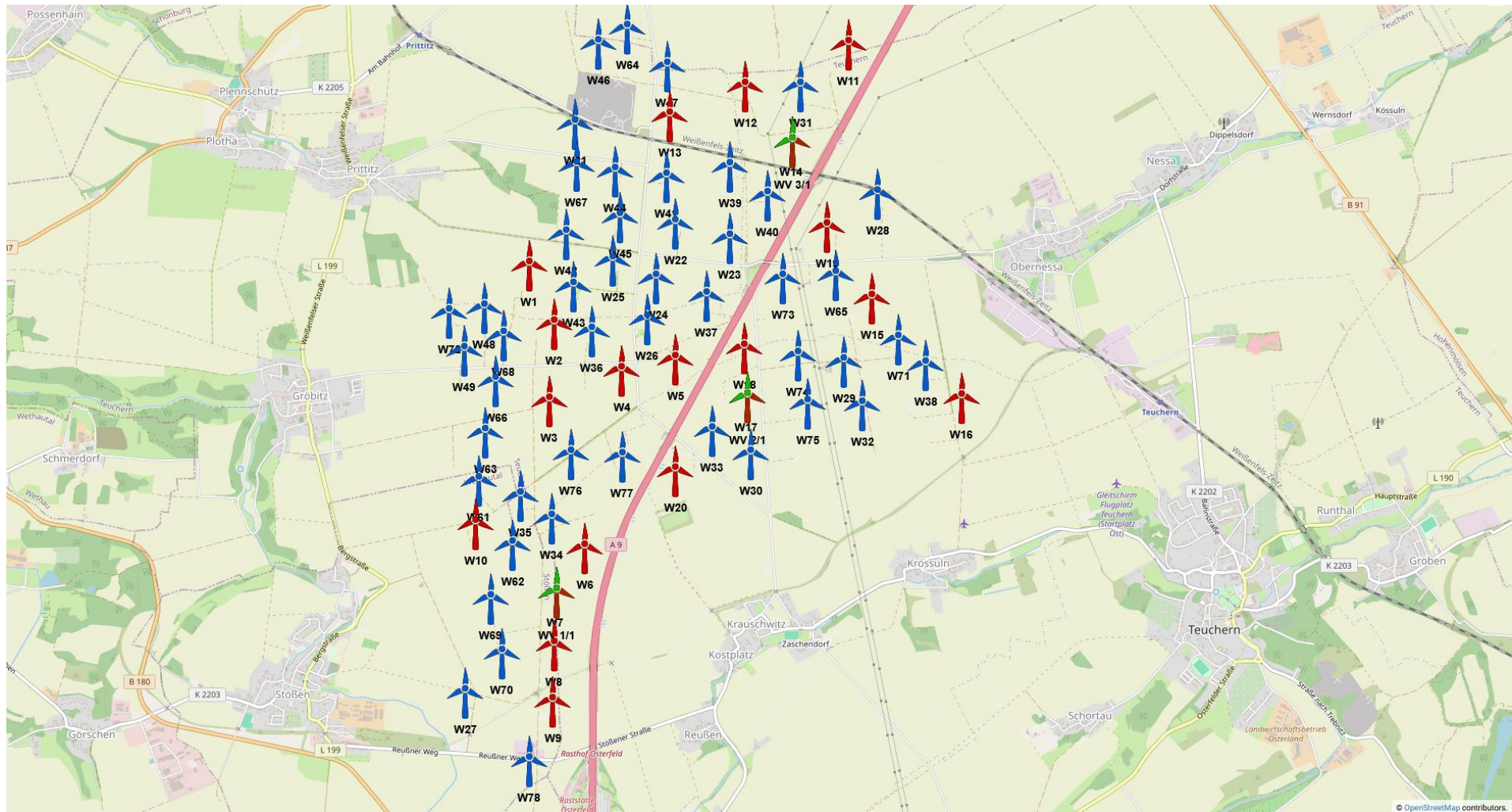
Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P _N [kW]	Zu Grunde gelegte WV
			X [m]	Y [m]								
W28	WEA 16N	Bestand	708869	5670409	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 3/1
W29	WEA 19N	Bestand	708668	5669153	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	-	0.0	4200	-
W30	WEA 20	Bestand	707999	5668437	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W31	WEA 22N	Bestand	708261	5671189	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	149.0	115.7	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 3/1
W32	WEA 27N	Bestand	708818	5668835	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	-	0.0	4200	-
W33	WEA 29N	Bestand	707700	5668594	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 1/1
W34	WEA 35N	Bestand	706526	5667894	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	126.7	Trudelbetrieb	0.0	4000	WV 1/1
W35	WEA 36N	Bestand	706286	5668055	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	135.0	115.7	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 1/1
W36	WEA 41N	Bestand	706770	5669301	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	3500	WV 2/1
W37	WEA 42N	Bestand	707617	5669597	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 2/1
W38	WEA 47N	Bestand	709282	5669152	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	135.0	115.7	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 2/1
W39	WEA 51N	Bestand	707756	5670568	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	126.7	Trudelbetrieb	0.0	4000	WV 3/1
W40	WEA 52N	Bestand	708045	5670367	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	4200	WV 3/1
W41	WEA 53N	Bestand	707283	5670474	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	3500	WV 3/1
W42	WEA 55N	Bestand	706550	5670018	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	126.7	-	0.0	4000	-
W43	WEA 56N	Bestand	706621	5669630	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	-	0.0	4200	-
W44	WEA 58N	Bestand	706898	5670498	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	131.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	3500	WV 3/1
W45	WEA 59N	Bestand	706949	5670162	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	138.3	Trudelbetrieb	0.0	3500	WV 3/1
W46	WEA 64N	Bestand	706735	5671448	Enercon	E-103 EP2 / 2.350 kW	138.4	103.0	Trudelbetrieb	0.0	2350	WV 3/1
W47	WEA 66N	Bestand	707254	5671302	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	119.8	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 3/1
W48	WEA Gröbitz 1	Bestand	705959	5669441	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	64.0	71.0	-	0.0	2000	-
W49	WEA Gröbitz 2	Bestand	705821	5669122	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	64.0	71.0	-	0.0	2000	-
W50	WEA O/S20	Bestand	703735	5664170	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	-	0.0	2000	-
W51	WEA O/S21	Bestand	703685	5664528	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	-	0.0	2000	-
W52	WEA O/S22	Bestand	703171	5664659	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	-	0.0	2000	-
W53	WEA O/S23	Bestand	703033	5665000	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	-	0.0	2000	-
W54	WEA O/S24	Bestand	703487	5665142	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	-	0.0	2000	-
W55	WEA S7	Bestand	704605	5665341	Enercon	E-66 / 15.66	67.0	66.0	-	0.0	1500	-

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]								
W56	WEA S9	Bestand	704413	5664538	Enercon	E-66 / 15.66	67.0	66.0	-	0.0	1500	-
W57	WEA S10	Bestand	705233	5664531	Enercon	E-66 / 15.66	67.0	66.0	-	0.0	1500	-
W58	WEA S11	Bestand	704173	5664734	Enercon	E-66 / 15.66	67.0	66.0	-	0.0	1500	-
W59	WEA S12	Bestand	703980	5664899	Enercon	E-66 / 15.66	67.0	66.0	-	0.0	1500	-
W60	WEA S13	Bestand	704618	5664362	Enercon	E-66 / 15.66	67.0	66.0	-	0.0	1500	-
W61	WEA 1 (wpd)	Bestand	705968	5668154	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W62	WEA 2 (wpd)	Bestand	706244	5667688	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	98.4	82.0	-	0.0	2300	-
W63	WEA Z.1	Bestand	706006	5668513	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W64	WEA Z.14	Bestand	706946	5671572	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 3/1
W65	WEA Z.15	Bestand	708583	5669792	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 2/1
W66	WEA Z.2	Bestand	706067	5668904	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W67	WEA Z.26	Bestand	706608	5670530	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	-	0.0	2300	-
W68	WEA Z.3	Bestand	706112	5669247	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	113.5	71.0	-	0.0	2000	-
W69	WEA Z.31	Bestand	706094	5667277	Enercon	E-115 / 3.000 kW	149.0	115.7	-	0.0	3000	-
W70	WEA Z.32	Bestand	706194	5666872	Enercon	E-115 / 3.000 kW	135.4	115.7	Trudelbetrieb	0.0	3000	WV 1/1
W71	WEA Z.36	Bestand	709069	5669333	Enercon	E-115 / 3.000 kW	135.4	115.7	Trudelbetrieb	0.0	3000	WV 2/1
W72	WEA Z.48	Bestand	705701	5669398	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	78.3	82.0	-	0.0	2300	-
W73	WEA Z.6	Bestand	708186	5669753	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 2/1
W74	WEA Z.8	Bestand	708322	5669182	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 2/1
W75	WEA Z.9	Bestand	708409	5668828	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	-	0.0	2300	-
W76	WEA 12	Bestand	706651	5668380	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W77	WEA 13	Bestand	707037	5668380	Enercon	E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	166.6	160.0	Trudelbetrieb	0.0	5560	WV 1/1
W78	WEA 5	Bestand	706430	5666082	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.3	82.0	BM 0 s	0.0	2300	WV 1/1



Neuanlagen
 Bestandsanlagen
 Referenzwindverteilung

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



Neuanlagen
 Bestandsanlagen
 Referenzwindverteilung

Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detailansicht); 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]			
706588	5667345	167.5			
Sektor Windrichtung [°]					
N 0			6.02	2.27	7.35
NNO 30			5.94	2.57	8.50
ONO 60			6.47	2.51	12.93
O 90			7.13	2.29	9.44
OSO 120			5.19	2.44	3.63
SSO 150			5.07	2.13	2.86
S 180			8.37	2.17	3.96
SSW 210			9.93	2.68	7.08
WSW 240			9.43	2.78	11.74
W 270			10.24	3.49	17.06
WNW 300			7.50	2.48	9.06
NNW 330			6.34	2.32	6.38

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]			
707954	5668858	167.5			
Sektor Windrichtung [°]					
N 0			6.01	2.26	7.33
NNO 30			5.91	2.55	8.47
ONO 60			6.38	2.48	12.94
O 90			7.09	2.28	9.71
OSO 120			5.24	2.43	3.86
SSO 150			5.08	2.32	2.95
S 180			8.48	2.26	3.97
SSW 210			9.74	2.59	6.60
WSW 240			9.59	2.77	11.02
W 270			10.38	3.54	16.90
WNW 300			7.58	2.48	9.36
NNW 330			6.45	2.34	6.87

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]			
708214	5670773	167.5			
Sektor Windrichtung [°]					
N 0			5.86	2.25	7.45
NNO 30			5.77	2.53	8.57
ONO 60			6.22	2.45	12.84
O 90			6.95	2.26	9.86
OSO 120			5.12	2.41	3.96
SSO 150			4.86	2.25	2.92
S 180			8.10	2.22	4.02
SSW 210			9.41	2.55	6.52
WSW 240			9.29	2.71	11.40
W 270			10.07	3.49	16.77
WNW 300			7.31	2.42	8.75
NNW 330			6.31	2.33	6.95

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 $0^\circ C$ 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
Zwei Gipfel	9.5

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]	D ² [m ²]	Eisobjekte/Jahr
E-160 EP5 E3 / 5.560 kW	160.0	25600	1565
E-175 EP5 E2 / 7000 kW	175.0	30625	1873
E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	138.3	19044	1165

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 Trudeln 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 Trudelnbetrieb versetzt wird. Somit folgt die WEA nicht mehr der Kennlinie für den Normalbetrieb, sondern der Kennlinie für den Trudelnbetrieb. Ein Normalbetrieb unter Vereisungsbedingungen wird somit ausgeschlossen und in den vorgenommenen Berechnungen nicht berücksichtigt. Die Windnachführung bleibt jedoch unberührt von dem Wechsel in den Trudelnbetrieb.

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 – W20 ein funktionsfähiges Eiserkennungssystem installiert ist. Somit werden die Betriebsparameter des Trudelbetriebs angesetzt [19].

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 : Nabhöhe [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. $30\text{ m} \times 30\text{ m}$) 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 Geländeprofiles 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 Feldwege A, Feldwege B, Feldwege C, Feldwege D und Feldwege E 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.

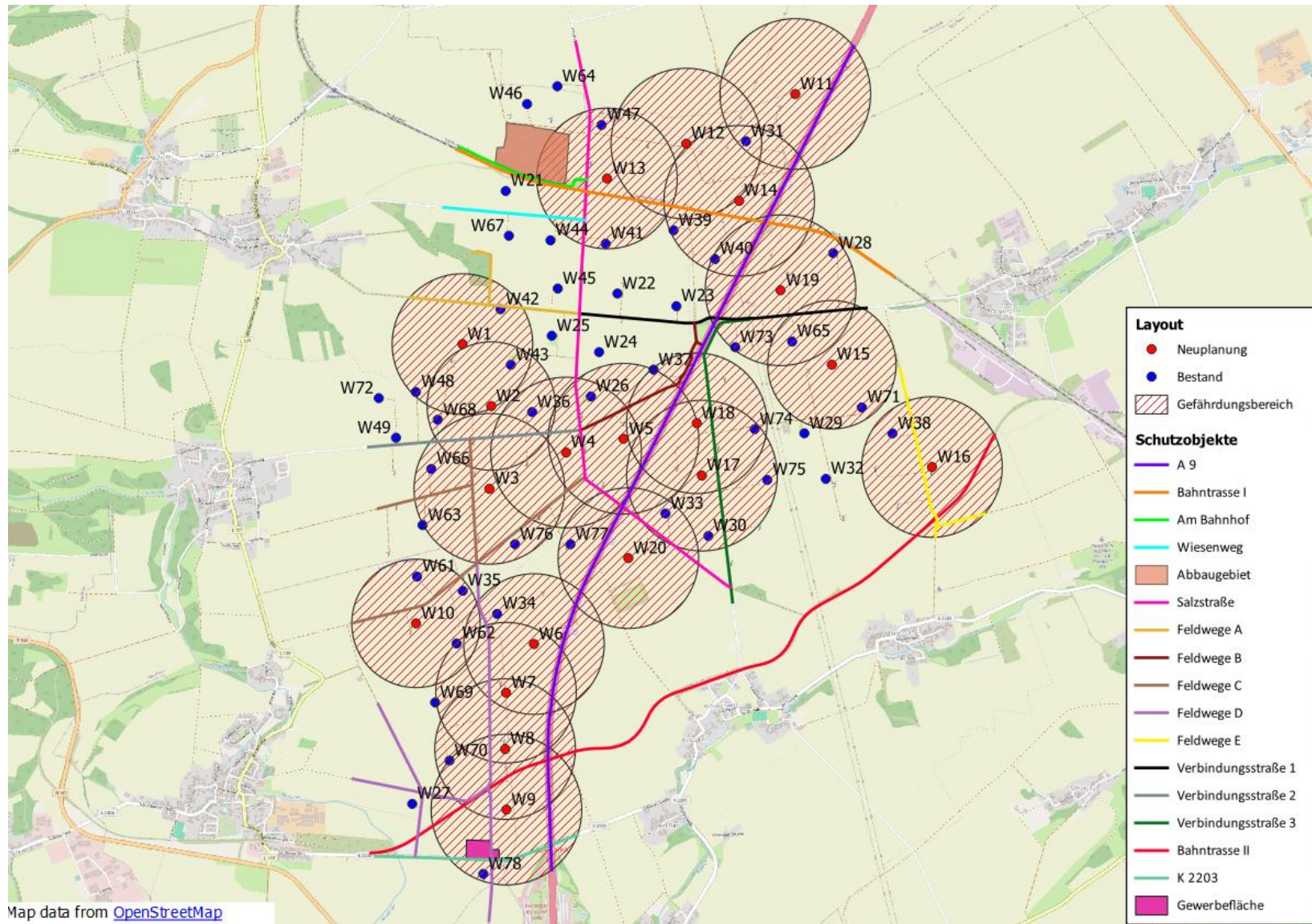


Abbildung 3.1 :Zu untersuchende Gefährdungszonen [3.1, 3.3]



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

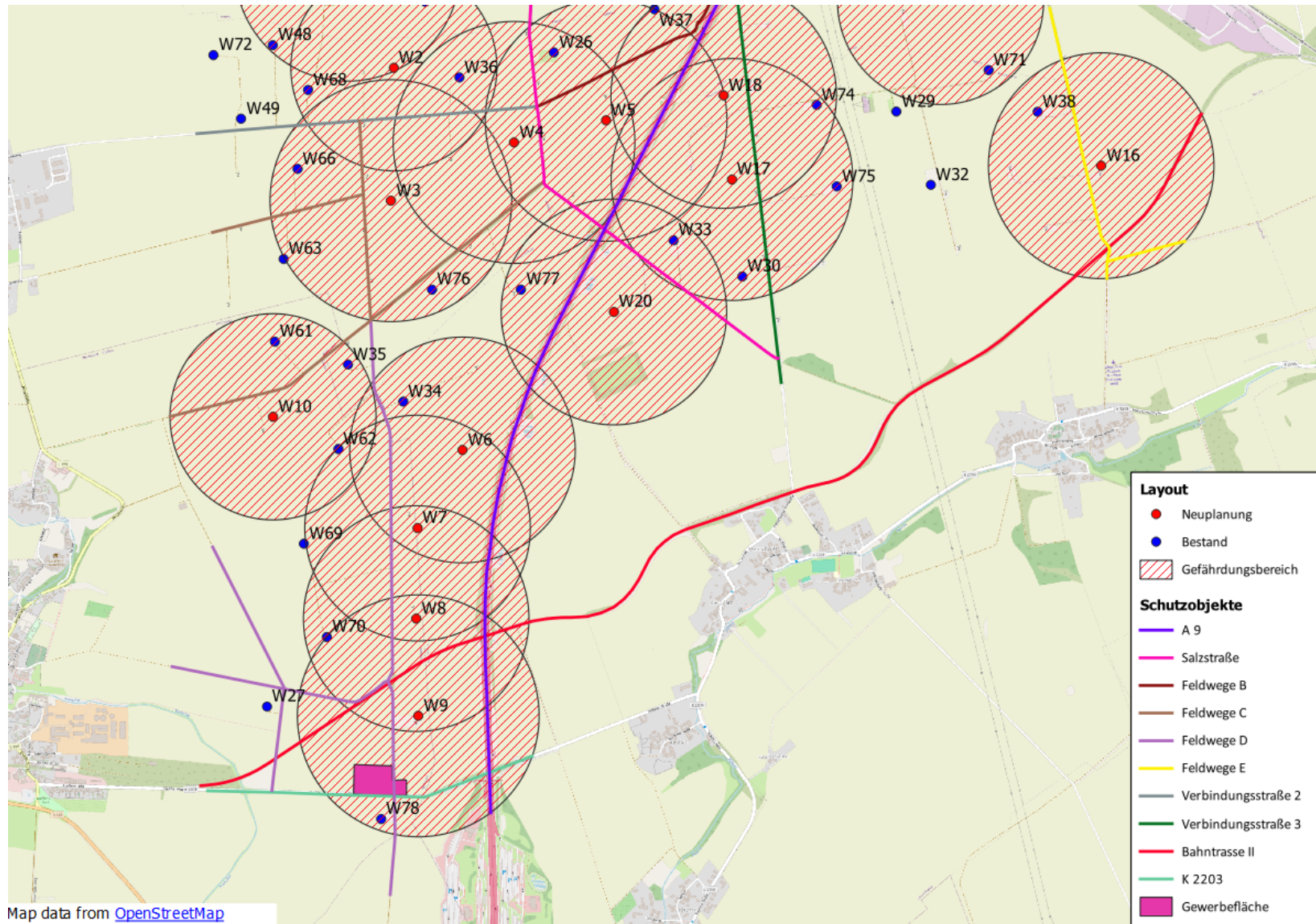


Abbildung 3.3 :Zu untersuchende Gefährdungszonen (Detailansicht Süd) [3.1, 3.3]

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
A 9	W4, W5, W6, W7, W8, W9, W11, W14, W17, W18, W19, W20, W23, W31, W33, W37, W40, W73, W77
Bahntrasse I	W12, W13, W14, W19, W21, W28, W39, W40, W41, W44
Am Bahnhof	W13, W21, W44, W47
Wiesenweg	W13, W21, W41, W44, W67
Abbaugelände	W13, W21, W46, W47, W64
Salzstraße	W4, W5, W13, W17, W20, W22, W24, W25, W26, W30, W33, W36, W41, W44, W45, W47, W64, W77
Feldweg A	W1, W22, W24, W25, W42, W43, W45
Feldweg B	W4, W5, W18, W23, W24, W26, W36, W37, W73
Feldweg C	W2, W3, W4, W5, W10, W34, W35, W61, W63, W66, W76, W77
Feldweg D	W6, W7, W8, W9, W27, W34, W35, W62, W69, W70, W76, W78
Feldweg E	W16, W38, W71
Verbindungsstraße 1	W15, W19, W22, W23, W24, W25, W28, W37, W40, W45, W65, W73
Verbindungsstraße 2	W2, W3, W4, W5, W26, W36, W49, W66, W68
Verbindungsstraße 3	W17, W18, W19, W23, W30, W33, W37, W73, W74
Bahntrasse II	W8, W9, W16, W27, W70
K 2203	W9, W27, W78
Gewerbefläche	W9, W78

4 Gültigkeit der Ergebnisse

Die in diesem Gutachten dargestellten Ergebnisse sind von verschiedenen Eingangsgrößen abhängig, wie dem WEA-Standort, dem WEA-Typ, der Nabhöhe, 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, Nabhöhe, 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 „Regelmäßige 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
A 9	56000 Fz. / Tag
Bahntrasse I	Regelmäßige Nutzung
Am Bahnhof	Regelmäßige Nutzung
Wiesenweg	Gelegentliche Nutzung
Abbaugelände	Regelmäßige Nutzung
Salzstraße	300 Fz. / Tag
Feldweg A	Gelegentliche Nutzung
Feldweg B	Gelegentliche Nutzung
Feldweg C	Gelegentliche Nutzung
Feldweg D	Gelegentliche Nutzung
Feldweg E	Gelegentliche Nutzung
Verbindungsstraße 1	Häufige Nutzung
Verbindungsstraße 2	Gelegentliche Nutzung
Verbindungsstraße 3	Gelegentliche Nutzung
Bahntrasse II	Regelmäßige Nutzung
K 2203	1000 Fz. / Tag
Gewerbefläche	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.
- **Bahn:**
 - **Frontscheibe eines Triebfahrzeuges:** Relevante Aufprallfläche 3.00 m² mit einer konservativ angenommenen tödlichen Trefferfolge für den Triebfahrzeugführer bei Durchschlagen der Scheibe.

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.

5.3 Eisenbahnstrecken innerhalb der Gefährdungszone

Sofern eine Eisenbahnstrecke im zu untersuchenden Bereich einer WEA liegt, ist das durch die WEA verursachte Risiko auch für diesen Personenverkehr zu bewerten. Als gefährdete Person wird beim Eisenbahnverkehr nicht jeder Passagier eines Zuges betrachtet, sondern lediglich der Triebfahrzeugführer, da durch einen Treffer auf der Windschutzscheibe nur für diesen eine Gefahr besteht. Die in Triebfahrzeugen verbaute Sicherheitsfahrerschaltung überprüft in regelmäßigen Abständen die Handlungsfähigkeit des Triebfahrzeugführers. Sobald die Sicherheitsfahrerschaltung eine falsche Aktivität oder Inaktivität des Triebfahrzeugführers registriert, leitet das System nach kurzer Zeit eine Zwangsbremmung bis zum Stillstand des Zugs ein. Eine Gefährdung der Passagiere wird in diesem Szenario ausgeschlossen. Hinsichtlich der Risikobewertung ist somit das individuelle Risiko maßgebend, da auf der Eisenbahnstrecke die Anzahl der zu betrachtenden Personen weniger als 100 (Triebfahrzeugführer) beträgt. Hinsichtlich der Expositionszeiten wird davon ausgegangen, dass ein Triebfahrzeugführer zehn Mal pro Tag die Strecke befährt. Aufgrund des Ausschlusses von Fahrfehlern besteht lediglich ein Risiko beim Durchschlagen der Scheibe durch einen Eisblock. Die Frontscheiben eines Triebfahrzeugs bestehen aus Verbund-Sicherheitsglas, das einschlagenden Projektilen standhalten muss [10.2, 10.3]. Daher ist das Durchschlagen einer Frontscheibe sehr unwahrscheinlich. Es wird ein Restrisiko von 1% als konservativ abdeckend angesetzt.

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 unbekanntem 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 [10.1]. 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 $10^{-2} \frac{\text{Schwere Unfälle}}{\text{km*Jahr}}$. 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 $10^{-3} \frac{\text{Schwere Unfälle}}{\text{km*Jahr}}$.

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.

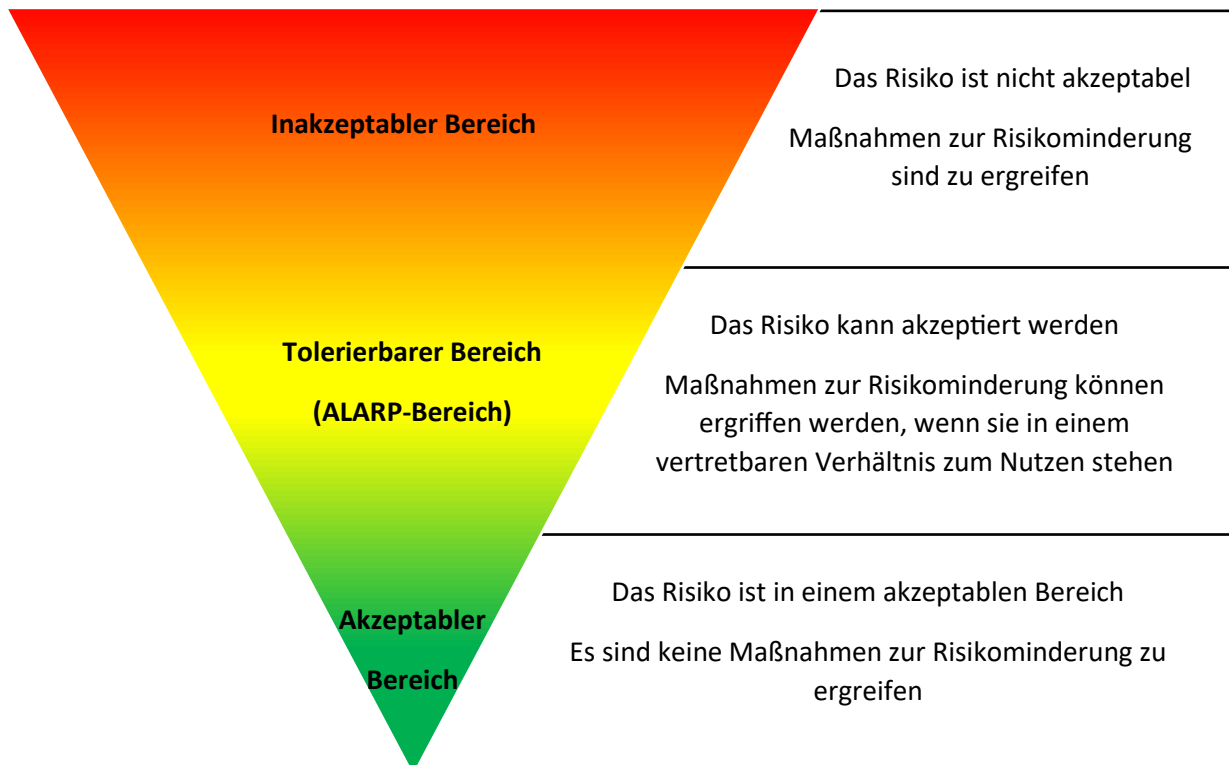


Abbildung 6.1: Übersicht der definierten Risikoakzeptanzbereiche nach dem ALARP-Prinzip [12]

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 $1 \times 10^{-5} \frac{\text{Todesfälle}}{\text{Jahr}}$ als obere Grenze zwischen dem ALARP-Bereich und einem inakzeptablen Risiko. Für das Kollektivrisiko gilt ein Risiko von $1 \times 10^{-3} \frac{\text{Schwere Unfälle}}{\text{km*Jahr}}$ 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 für Individual- und Kollektivrisiko dargestellt:

Tabelle 6.1: Risikogrenzwerte in Anlehnung an das ALARP-Prinzip

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

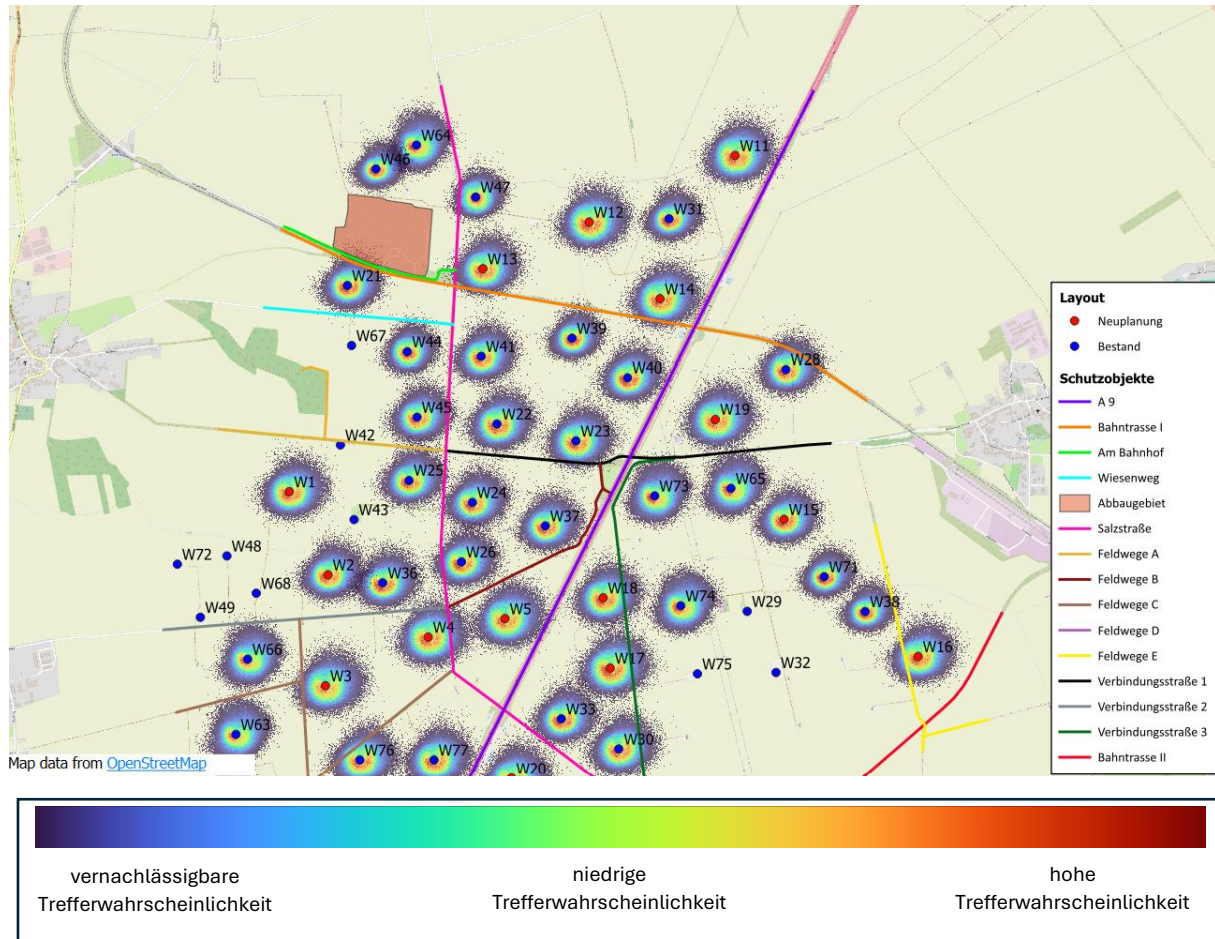


Abbildung 7.1: Berechnete Trefferhäufigkeiten Nord [3.1, 3.3]

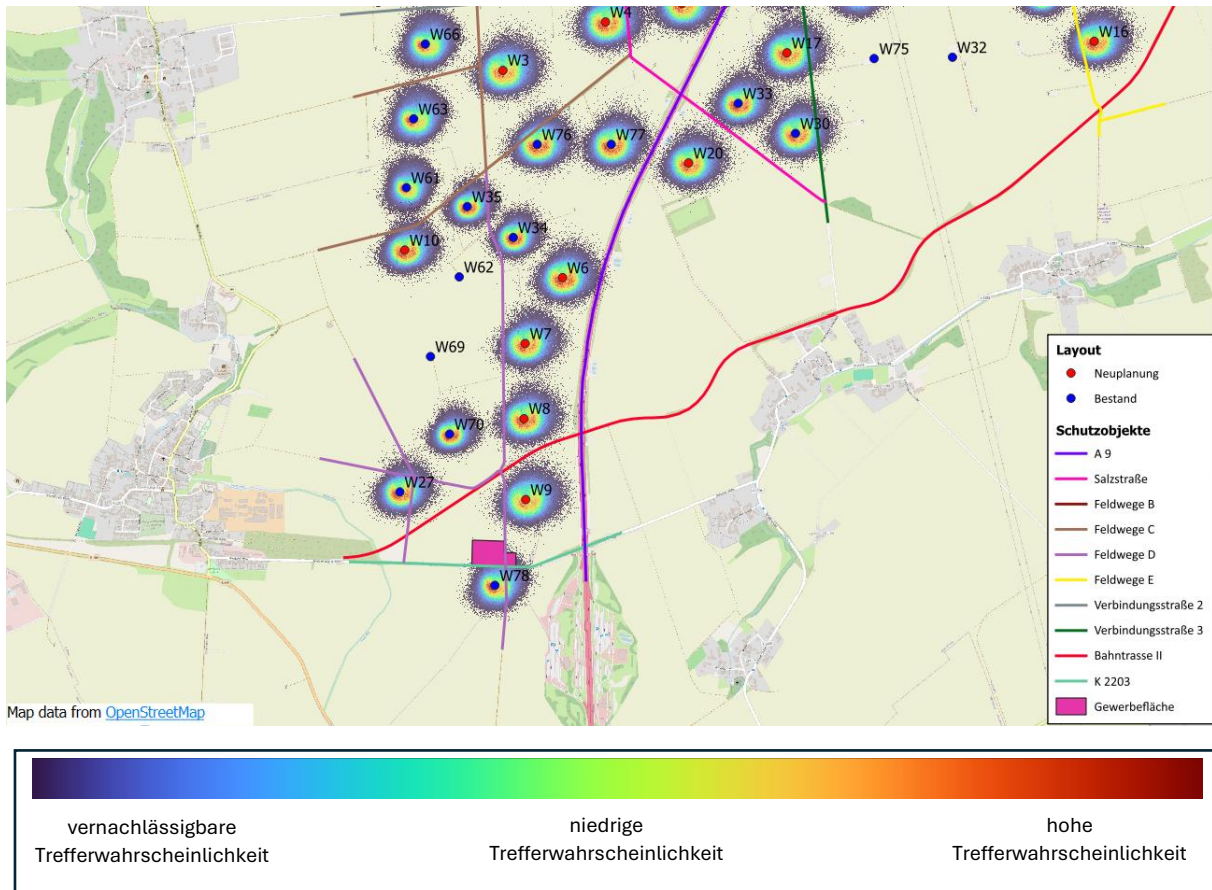


Abbildung 7.2: Berechnete Trefferhäufigkeiten Süd [3.1, 3.3]

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
A 9	W4	-	keine Treffer
	W5	-	4.72×10^{-7}
	W6	-	3.79×10^{-7}
	W7	-	keine Treffer
	W8	-	keine Treffer
	W9	-	1.81×10^{-8}
	W11	-	2.00×10^{-7}
	W14	-	1.09×10^{-7}
	W17	-	keine Treffer
	W18	-	1.52×10^{-8}
	W19	-	keine Treffer
	W20	-	1.52×10^{-8}
	W23	-	keine Treffer
	W31	-	keine Treffer
	W33	-	keine Treffer
	W37	-	3.38×10^{-8}
W40	-	7.90×10^{-8}	
W73	-	keine Treffer	
W77	-	1.36×10^{-7}	
Bahntrasse I	W12	keine Treffer	-
	W13	4.58×10^{-10}	-
	W14	6.25×10^{-10}	-
	W19	keine Treffer	-
Am Bahnhof	W13	2.17×10^{-10}	-
Wiesenweg	W13	keine Treffer	-
Abbaugelände	W13	1.37×10^{-10}	-
Salzstraße	W4	-	1.32×10^{-5}
	W5	-	keine Treffer
	W13	-	6.01×10^{-9}
	W17	-	keine Treffer
	W20	-	3.25×10^{-10}
	W22	-	keine Treffer
	W24	-	9.67×10^{-10}
	W25	-	4.11×10^{-9}
	W26	-	2.99×10^{-8}
	W30	-	1.62×10^{-10}
	W33	-	2.24×10^{-9}
	W36	-	keine Treffer
	W41	-	1.33×10^{-9}
	W44	-	keine Treffer
	W45	-	1.17×10^{-8}
W47	-	5.23×10^{-8}	
W64	-	1.37×10^{-9}	
W77	-	keine Treffer	

Feldwege A	W1	keine Treffer	-
Feldwege B	W4	1.32×10^{-10}	-
	W5	1.97×10^{-10}	-
	W18	keine Treffer	-
Feldwege C	W2	keine Treffer	-
	W3	1.75×10^{-9}	-
	W4	keine Treffer	-
	W5	keine Treffer	-
	W10	1.26×10^{-9}	-
	W35	7.95×10^{-10}	-
	W61	keine Treffer	-
	W63	3.92×10^{-11}	-
	W66	2.06×10^{-12}	-
	W76	2.85×10^{-7}	-
W77	keine Treffer	-	
Feldwege D	W6	keine Treffer	-
	W7	1.11×10^{-9}	-
	W8	1.62×10^{-9}	-
	W9	2.32×10^{-9}	-
	W27	5.10×10^{-7}	-
	W34	8.86×10^{-10}	-
	W35	1.97×10^{-9}	-
	W62	keine Treffer	-
	W69	keine Treffer	-
	W70	1.10×10^{-7}	-
	W76	keine Treffer	-
W78	1.11×10^{-9}	-	
Feldwege E	W16	2.00×10^{-7}	-
	W38	2.15×10^{-10}	-
	W71	keine Treffer	-
Verbindungsstraße 1	W15	keine Treffer	-
	W19	4.23×10^{-10}	-
Verbindungsstraße 2	W2	keine Treffer	-
	W3	keine Treffer	-
	W4	7.61×10^{-10}	-
	W5	keine Treffer	-
Verbindungsstraße 3	W17	1.09×10^{-7}	-
	W18	1.01×10^{-7}	-
	W19	keine Treffer	-
	W23	keine Treffer	-
	W30	6.29×10^{-8}	-
	W33	keine Treffer	-
	W37	keine Treffer	-
	W73	7.22×10^{-11}	-
W74	keine Treffer	-	

Bahntrasse II	W8	1.16×10^{-10}	-
	W9	6.94×10^{-10}	-
	W16	keine Treffer	-
K 2203	W9	-	keine Treffer
Gewerbefläche	W9	keine Treffer	-

Das Schutzobjekt A 9 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W4, W7, W8, W9, W17, W18, W19 und W20 und die zu berücksichtigenden WEA W23, W31, W33, W37, W40 und W73 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 W4, W7, W8, W9, W17, W18, W19 und die zu berücksichtigenden W23, W31, W33, W37, W40 und W73 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Bahntrasse I liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W12, W13, W14 und W19 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 W12, W13, W14, W19 und die zu berücksichtigenden WEA W21, W28, W39, W40, W41, W44 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Am Bahnhof 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 und die zu berücksichtigenden WEA W21, W44 und W47 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Wiesenweg 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 und die zu berücksichtigenden WEA W21, W41, W44 und W67 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Abbaugelände 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 und die zu berücksichtigenden WEA W21, W46, W47 und W64 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Salzstraße liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W5, W13, W17 und W20 und die zu berücksichtigenden WEA W22, W24, W25, W26, W30, W33, W36, W41, W44, W45, W47, W64 und W77 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 W5, W13, W17 und W20 und die zu berücksichtigenden W22, W24, W25, W26, W30, W33, W36, W41, W44, W45, W47, W64 und W77 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Feldwege A liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W1 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 W1 und die zu berücksichtigenden WEA W22, W24, W25, W42, W43 und W45 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Feldwege B liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W4, W5 und W18 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 W4, W5, W18 und die zu berücksichtigenden WEA W23, W24, W26, W36, W37 und W73 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Feldwege C liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W2, W4 und W5 und die zu berücksichtigenden WEA W35, W61, W63, W66 und W77 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, W4, W5 und die zu berücksichtigenden WEA W35, W61, W63, W66, W77 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Feldwege D liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W6 und die zu berücksichtigenden WEA W34, W62, W69 W70 und W76 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 W6 und die zu berücksichtigenden WEA W34, W62, W69, W70 und W76 als nicht relevant bewertet.

Gemäß Simulation werden keine oder wenige Treffer durch die zu berücksichtigenden WEA W38 und W71 an dem Schutzobjekt Feldwege E 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 berücksichtigenden WEA W38 und W71 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Verbindungsstraße 1 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W15 und W19 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 W19 und die zu berücksichtigenden WEA W22, W23, W24, W25, W28, W37, W40, W45, W65 und W73 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Verbindungsstraße 2 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W2 - W5 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 - W5 und die zu berücksichtigenden WEA W26, W36, W49, W66 und W68 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Verbindungsstraße 3 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA W19 und die zu berücksichtigenden WEA W23, W33, W37, W73 und W74 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 W19 und die zu berücksichtigenden WEA W23, W33, W37, W73 und W74 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Bahntrasse II liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchenden WEA W8, W9 und W16 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 W27 und W70 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt K 2203 liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA 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 untersuchende WEA W9 und die zu berücksichtigenden WEA W27 und W78 als nicht relevant bewertet.

Das Schutzobjekt Gewerbefläche liegt zwar innerhalb der Gefährdungszone, gemäß Simulation werden jedoch keine oder wenige Treffer durch die zu untersuchende WEA 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 untersuchende WEA W9 und die zu berücksichtigende WEA W78 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 Risiko 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 – W20 ein funktionsfähiges Eiserkennungssystem verbaut wird.

Tabelle 7.2: Darstellung der Ergebnisse für die Schutzobjekte

Schutzobjekt	Berücksichtigte WEA	Als relevant eingestufte WEA	Individuelles Personenrisiko	Kollektives Personenrisiko	Risikobewertung	Empfohlene risikomindernde Maßnahme
A 9	W4, W5, W6, W7, W8, W9, W11, W14, W17, W18, W19, W20, W23, W31, W33, W37, W40, W73, W77	W5, W6, W11, W14, W77	-	1.46×10^{-6}	akzeptables Risiko	-
Bahntrasse I	W12, W13, W14, W19, W21, W28, W39, W40, W41, W44	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Am Bahnhof	W13, W21, W44, W47	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Wiesenweg	W13, W21, W41, W44, W67	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Abbaugelände	W13, W21, W46, W47, W64	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Salzstraße	W4, W5, W13, W17, W20, W22, W24, W25, W26, W30, W33, W36, W41, W44, W45, W47, W64, W77	W4	-	1.32×10^{-5}	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Feldwege A	W1, W22, W24, W25, W42, W43, W45	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Feldwege B	W4, W5, W18, W23, W24, W26, W36, W37, W73	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Feldwege C	W2, W3, W4, W5, W10, W35, W61, W63, W66, W76, W77	W3, W10, W76	2.88×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Feldwege D	W6, W7, W8, W9, W27, W34, W35, W62, W69, W70, W76, W78	W7, W8, W9, W27, W35, W78	6.28×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Feldwege E	W16, W38, W71	W16	2.00×10^{-7}	-	akzeptables Risiko	-
Verbindungsstraße 1	W15, W19, W22, W23, W24, W25, W28, W37, W40, W45, W65, W73	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Verbindungsstraße 2	W2, W3, W4, W5, W26, W36, W49, W66, W68	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
Verbindungsstraße 3	W17, W18, W19, W23, W30, W33, W37, W73, W74	W17, W18, W30	2.73×10^{-7}	-	(unteres) tolerierbares Risiko	-
Bahntrasse II	W8, W9, W16, W27, W70	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes Risiko	-
K 2203	W9, W27, W78	-	-	$< 10^{-7}$	nicht signifikantes Risiko	-
Gewerbefläche	W9, W78	-	$< 10^{-9}$	-	nicht signifikantes 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	303
W2	297
W3	333
W4	336
W5	379
W6	354
W7	338
W8	349
W9	350
W10	293
W11	358
W12	326
W13	327
W14	353
W15	285
W16	311
W17	351
W18	314
W19	347
W20	379

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 – W20 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 A 9 wurden die WEA W4, W5, W6, W7, W8, W9, W11, W14, W17, W18, W19, W20, W23, W31, W33, W37, W40, W73 und W77 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W4, W7, W8, W9, W17, W18, W19, W20, W23, W31, W33, W37, W40 und W73 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W5, W6, W11, W14 und W77 für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Bahntrasse I wurden die WEA W12, W13, W14, W19, W21, W28, W39, W40, W41 und W44 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W12, W13, W14, W19, W21, W28, W39, W40, W41 und W44 als nicht relevant eingestuft, daher wurde keine der berücksichtigten WEA für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Am Bahnhof wurden die WEA W13, W21, W44 und W47 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W13 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W21, W44 und W47 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Wiesenweg wurden die WEA W13, W21, W41, W44 und W67 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W13 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W21, W41, W44 und W67 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Abbaugelände wurden die WEA W13, W21, W46, W47 und W64 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W13 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W21, W46, W47 und W64 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Salzstraße wurden die WEA W4, W5, W13, W17, W20, W22, W24, W25, W26, W30, W33, W36, W41, W44, W45, W47, W64 und W77 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W5, W13, W17, W20, W22, W24, W25, W26, W30, W33, W36, W41, W44, W45, W47, W64 und W77 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die WEA W4 für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Feldwege A wurden die WEA W1, W22, W24, W25, W42, W43 und W45 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W1 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W22, W24, W25, W42, W43 und W45 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.

- Für das Schutzobjekt Feldwege B wurden die WEA W4, W5, W18, W23, W24, W26, W36, W37 und W73 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W4, W5 und W18 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W23, W24, W26, W36, W37 und W73 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Feldwege C wurden die WEA W2, W3, W4, W5, W10, W35, W61, W63, W66, W76, W77 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W2, W4, W5, W35, W61, W63, W66, W77 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W3, W10, W76 für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Feldwege D wurden die WEA W6, W7, W8, W9, W27, W34, W35, W62, W69, W70, W76 und W78 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W6, W34, W62, W69, W70, W76 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W7, W8, W9, W27, W35, W78 für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Feldwege E wurden die WEA W16, W38 und W71 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W38 und W71 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die WEA W16 für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Verbindungsstraße 1 wurden die WEA W15, W19, W22, W23, W24, W25, W37, W45, W65 und W73 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W15 und W19 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W22, W23, W24, W25, W37, W45, W65 und W73 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Verbindungsstraße 2 wurden die WEA W2, W3, W4, W5, W26, W36, W49, W66 und W68 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W2 – W5 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W26, W36, W49, W66 und W68 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Verbindungsstraße 3 wurden die WEA W17, W18, W19, W23, W30, W33, W37, W73 und W74 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W19, W23, W33, W37, W73 und W74 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die WEA W17, W18 und W30 für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Bahntrasse II wurden die WEA W8, W9, W16, W27 und W70 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden die WEA W8, W9 und W16 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W27 und W70 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt K 2203 wurden die WEA W9, W27 und W78 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W9 als nicht relevant eingestuft, daher wurden die berücksichtigten WEA W27 und W78 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.
- Für das Schutzobjekt Gewerbefläche wurden die WEA W9 und W78 berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung wurde die WEA W9 als nicht relevant eingestuft, daher wurde die berücksichtigte WEA W78 nicht für die finale Risikobewertung berücksichtigt.

8.2 Abschließende Bewertung der Schutzobjekte

Für die Schutzobjekte Bahntrasse, Am Bahnhof, Wiesenweg, Abbaugelände, Feldwege A, Feldwege B, Verbindungsstraße 1, Verbindungsstraße 2, Bahntrasse II, K 2203 und Gewerbefläche besteht kein signifikantes Risiko durch die betrachteten WEA.

Für das Schutzobjekte A 9 wurde ein akzeptables Risiko berechnet. Risikomindernde Maßnahmen werden nicht empfohlen.

Für die Schutzobjekte Salzstraße, Feldwege C, Feldwege D, Feldwege E und Verbindungsstraße 3 wurde ein (unteres) tolerierbares Risiko berechnet. Risikomindernde Maßnahmen werden nicht 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
A 9	W5, W6, W11, W14, W77	akzeptables Risiko	Ja	-
Bahntrasse I	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Am Bahnhof	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Wiesenweg	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Abbaugelände	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Salzstraße	W4	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Feldwege A	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Feldwege B	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Feldwege C	W3, W10, W76	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Feldwege D	W7, W8, W9, W27, W35, W78	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Feldwege E	W16	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Verbindungsstraße 1	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Verbindungsstraße 2	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Verbindungsstraße 3	W17, W18, W30	(unteres) tolerierbares Risiko	Ja	-
Bahntrasse II	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
K 2203	-	nicht signifikantes Risiko	Ja	-
Gewerbefläche	-	nicht signifikantes 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	Fundamenterrhöhung	[m]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
NH	Nabenhöhe	[m]
M	Masse des Eisstücks	[kg]
p	Sektorielle Häufigkeit	[%]
P_N	Nennleistung	[kW]
v_{hub}	Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
$V(z)$	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/m ³]

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;*
- [10.1] *Ostermann et. al (2004); BETRACHTUNGEN ZUR RISIKOANALYSE IM EISENBAHNBAU; Institutsheft 32, S. 19 – 23;*
- [10.2] *Amtsblatt der Europäischen Union; DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2023/1694 DER KOMMISSION vom 10. August 2023 zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 321/2013, (EU) Nr. 1299/2014, (EU) Nr. 1300/2014, (EU) Nr. 1301/2014, (EU) Nr. 1302/2014, (EU) Nr. 1304/2014 und der Durchführungsverordnung (EU) 2019/777; September 2023;*
- [10.3] *DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 15152:2024-02; Bahnanwendungen - Frontscheiben für Schienenfahrzeuge; Deutsche Fassung EN 15152:2019+A1:2023; Februar 2024;*
- [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] *ENERCON GmbH; Technische Beschreibung Anhalten der Windenergieanlage ENERCON Windenergieanlagen; D0630561/4.1-de; 03.11.2023;*
- [20.1] *European Energy Deutschland GmbH; E-Mail mit dem Betreff: "AW: Layout + Gutachten Vier Berge V (Zwei Gipfel 5)" vom 04.07.2025; Datei: 20250704_Standortkoordinaten für Gutachten_Zwei Gipfel V im Gebiet Vier Berge.xlsx;*
- [20.2] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Standortgenaue Berechnung des langjährigen mittleren Windpotenzials am Standort W7 – Werte für Temperaturkriterium 1.0 °C; 2025-08-27-071709-540127;*
- [20.3] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Standortgenaue Berechnung des langjährigen mittleren Windpotenzials am Standort W17 – Werte für Temperaturkriterium 1.0 °C; 2025-08-27-073202-137629;*
- [20.4] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Standortgenaue Berechnung des langjährigen mittleren Windpotenzials am Standort W14 – Werte für Temperaturkriterium 1.0 °C; 2025-08-27-071735-238369;*