GUTACHTEN ZUR EISRISIKOANALYSE

NE-26-133478, Rev. 0

Gutachterliche Risikobewertung hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf bzw. Eisfall für den Windpark WP Etteln Ost FLE für zwei WEA vom Typ E-175 EP5 E2 - 7MW am Standort Borchen.

Datum:
04.05.2026

Auftraggeber:
WP Etteln A33 GmbH & Co. KG
Zur Egge 17
34431 Marsberg

Bearbeiter*in:
Anton Holtkamp, B.Sc.

noxt! engineering GmbH
Knollstraße 15 · 49088 Osnabrück
Tel.: +49 (0)541-2019 9800
Mail: engineering@noxt.de
HRB-Nr.: 216557 · AG Osnabrück



Foto: © Nahil Naseer

1 Versionskontrolle

Tabelle 1.1: Revisionsübersicht

Revision	Änderungen	Anmerkungen	Datum	Gutachter
0	Initiale Version		04.05.2026	Anton Holtkamp, B.Sc.

Ehrenwörtliche Erklärung

Der nachfolgende Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen mit größter Sorgfalt nach den derzeit geltenden Richtlinien erstellt und beinhaltet den anerkannten Stand der Technik. Die Ergebnisse basieren auf Daten, welche die noxt! engineering GmbH von Dritten zur Verfügung gestellt bekommen hat. Diese sind u.a. Hersteller von Windenergieanlagen, Landesvermessungsämter und der Auftraggeber selbst. Die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität dieser Daten sowie die Repräsentativität der Winddaten können durch die noxt! engineering GmbH nicht geprüft werden. Eine Haftung für diese Daten kann die noxt! engineering GmbH dementsprechend nicht übernehmen. Es ist die Pflicht des Auftraggebers, uns umfassend und wahrheitsgemäß zu informieren und entsprechende Daten bereitzustellen. Wir weisen den Auftraggeber darauf hin und er erkennt an, dass alle seine Entscheidungen, sei es kommerziell, technisch, steuerlich oder rechtlich, die auf diesem Dokument basieren, in seiner alleinigen Verantwortung liegen. Die noxt! engineering GmbH ist von jeglicher Haftung ausgenommen, die auf den Daten Dritter basiert. Der Auftraggeber wird die noxt! engineering GmbH insoweit von jeder Haftung freistellen.
Der Bericht enthält insgesamt 44 Seiten. Das Gutachten bleibt bis zur Übergabe und vollständigen Bezahlung unter Ausschluss jeglicher Nutzung alleiniges Eigentum der noxt! engineering GmbH. Eine Veröffentlichung oder Vervielfältigung sowie die Weitergabe des Gutachtens oder Auszüge bzw. Ergebnisse dessen an Dritte bedarf unter Angabe des Zweckes zuvor des schriftlichen Einverständnisses der noxt! engineering GmbH. Authentisch ist dieses Dokument nur mit Originalunterschriften. Bezüglich der Urheberrechte verweisen wir auf die jeweils gültigen noxt! engineering GmbH Beraterbedingungen. Diese finden Sie unter engineering.noxt.de/agb.

Osnabrück, 04.05.2026

noxt! engineering GmbH

noxt! engineering GmbH
Knollstraße 15, 49088 Osnabrück
+49 541 20 1998 00
engineering@noxt.de
www.engineering.noxt.de

Firmenstempel

Erstellt durch
(Anton Holtkamp, B.Sc.)

geprüft und freigegeben durch
(André Raming, M.Eng.)

2 Zusammenfassung

Am Standort Borchen wurde die noxt! engineering GmbH von der Firma WP Etteln A33 GmbH & Co. KG beauftragt, eine Risikobewertung hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf bzw. Eisfall zu analysieren und zu bewerten. Es wird zwischen Eisfall (Windenergieanlage (WEA) im Stillstand bzw. Taumelbetrieb) und Eiswurf (WEA in Betrieb) differenziert. Die Risikobewertung wurde auf Grundlage der internationalen Empfehlungen gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Schutzobjekte sowie die jeweils zugehörige WEA aufgeführt. Außerdem sind die von den jeweiligen Schutzobjekten minimalen und relativen Abstände zu den WEA aufgeführt. Die erforderlichen oder empfohlenen Maßnahmen sind in Kapitel 4.4 aufgezeigt. In den nachfolgenden Unterkapiteln ist die abschließende Bewertung des Risikos durch Eisfall bzw. Eiswurf dargestellt.

Tabelle 2.1: Darstellung der relevanten Schutzobjekte, des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA und des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA im Verhältnis zum 1,5-fachen der Summe aus Rotordurchmesser und Nabenhöhe

SO ID	Bezeichnung	Zusatzbeschreibung des Schutzobjektes	min. Abstand WEA [m]	min. rel. Abstand WEA
SOL-01	Wirtschaftsweg		90	0,18
SOL-02	Kreisstraße K1		138	0,27

2.1 Eiswurf

Aufgrund der vorhandenen Systeme der Eiserkennung kann eine Gefährdung bei potenziell gefährlichem Eisansatz weitestgehend ausgeschlossen werden. Für diese WEA ist daher gemäß [IEA22] eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu beachten.

2.2 Eisfall

Die abschließende Bewertung des Risikos durch Eisfall für alle WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2.2: Zusammenfassung der Ergebnisse für die zu betrachtenden WEA hinsichtlich des Risikos durch Eisfall

SO ID	Bezeichnung	WEA ID	Risikobewertung	Maßnahmen erforderlich?	Maßnahmen empfohlen?
SOL-01	Wirtschaftsweg	FLE10	unterer Bereich	Nein	Ja
SOL-02	Kreisstraße K1	FLE10	akzeptabler Bereich	Nein	Nein
SOL-01	Wirtschaftsweg	FLE11	akzeptabler Bereich	Nein	Nein
SOL-02	Kreisstraße K1	FLE11	unterer Bereich	Nein	Ja

Die erforderlichen Maßnahmen sind so zu verstehen, dass diese unabdingbar angewendet werden müssen. Bei Nichtbeachtung der Maßnahmen ist die Risikoabschätzung in einem inakzeptablen Bereich. Die empfohlenen Maßnahmen sind so zu verstehen, dass ein Risiko bereits im oberen ALARP-Toleranzbereich liegt und damit noch akzeptabel ist. Zur zusätzlichen Risikominderung leisten die empfohlenen Maßnahmen einen signifikant positiven Einfluss.

Inhaltsverzeichnis

1 Versionskontrolle **1**

2 Zusammenfassung **3**
2.1 Eiswurf . . . 3
2.2 Eisfall . . . 3

3 Situation und Aufgabenstellung **10**

4 Grundlagen **12**
4.1 Modellierung und Simulation von Eiswurf und Eisfall . . . 14
4.1.1 Simulation der Trajektorie . . . 14
4.1.2 Monte Carlo Simulation . . . 16
4.2 Methoden der Risikoabschätzung . . . 18
4.3 Risikobewertung . . . 19
4.3.1 Grenzwerte für individuelles Risiko . . . 19
4.3.2 Grenzwerte für kollektives Risiko . . . 19
4.3.3 Risikobewertung . . . 19
4.3.4 Annahmen der Bewertung . . . 22
4.4 Risikominderung . . . 23
4.4.1 Quantitative Maßnahmen . . . 23
4.4.2 Maßnahmen, die eine Neuberechnung erfordern . . . 24
4.4.3 Qualitative Maßnahmen . . . 25
4.4.4 Addition von Risiken . . . 25

5 Eingangsdaten **27**
5.1 Windenergieanlagen . . . 27
5.2 Windverteilung . . . 27

6 Berechnungsergebnisse **30**
6.1 Vereisungspotential . . . 30
6.2 Identifikation von relevanten Schutzobjekten . . . 31
6.2.1 Methodik . . . 31
6.2.2 Zu betrachtende Schutzobjekte . . . 31
6.3 Detailanalyse Schutzobjekte . . . 33
6.3.1 Detailanalyse Wirtschaftsweg (SOL-01) . . . 33
6.3.2 Detailanalyse Kreisstraße K1 (SOL-02) . . . 35

6.4 Zusammenfassende Risikobewertung 36

7 Gültigkeit der Ergebnisse 37

8 Interaktive Karte 38

Literaturverzeichnis 39

A Abkürzungsübersicht 40

B Formelzeichenübersicht 41

C Absolute Abstandstabelle 42

D Relative Abstandstabelle 43

E Dokumentenbeschreibung 44

Abbildungsverzeichnis

3.1 Lageplan des untersuchten Standortes mit den untersuchten WEA und den Windverteilungspositionen. Zusätzlich sind die potenziellen Risikobereiche der geplanten WEA dargestellt. [Bun] 11

4.1 Koordinatensystem (x, y, z) zur Berechnung der Trajektorie. Die Windrichtung zeigt entlang x. Das System (x′, y′, z′) ergibt sich aus (x, y, z) durch Translation vom Fußpunkt zur Nabe und veranschaulicht die Definition von r und θ, welche den initialen Ort des Eisfragments parametrisieren. Foto: Ilja Nedilko. 15

4.2 ALARP-Prinzip. 20

6.1 Darstellung der Treffer aus der mathematischen Simulation. [Bun] 33

Tabellenverzeichnis

1.1 Revisionsübersicht 1

2.1 Darstellung der relevanten Schutzobjekte, des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA und des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA im Verhältnis zum 1,5-fachen der Summe aus Rotordurchmesser und Nabenhöhe 3
2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse für die zu betrachtenden WEA hinsichtlich des Risikos durch Eisfall 4

4.1 Individuelle und kollektive Risikoeinstufung gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] 21
4.2 Quantitative Maßnahmen gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] 23
4.3 Maßnahmen, die eine Neuberechnung erfordern gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] 24

5.1 Zu untersuchende Windparkkonfiguration und die Angabe ob ein Eiserkennungssystem (EES) bereits verwendet wird 27
5.2 Windgeschwindigkeitsverteilung zu ID WV0 28
5.3 Windgeschwindigkeitsverteilung zu ID WV1 28
5.4 Windgeschwindigkeitsverteilung zu ID WV2 29

6.1 Über das Verhältnis aus dem quadrierten Rotordurchmessern und den Vereisungen pro Jahr können die Eisobjekte pro Jahr abgeschätzt werden . . . 31
6.2 Darstellung der relevanten Schutzobjekte, des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA und des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA im Verhältnis zum 1,5-fachen der Summe aus Rotordurchmesser und Nabenhöhe 32
6.3 Aufenthaltshäufigkeit SOL-01 34
6.4 Risikobewertung SOL-01 34
6.5 Aufenthaltshäufigkeit SOL-02 35
6.6 Risikobewertung SOL-02 35
6.7 Bewertung der Gefährdung für individuelles und kollektives Risiko. Das jeweils größere Risiko ist zu betrachten. 36

A.1 Abkürzungsübersicht 40

B.1 Formelzeichenübersicht 41

C.1 Abstandstabelle 42

D.1 Abstandstabelle 43

3 Situation und Aufgabenstellung

Die noxt! engineering GmbH ist von der WP Etteln A33 GmbH & Co. KG beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration am Standort Borchen im Kreis Kreis Paderborn in Nordrhein-Westfalen hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall zu analysieren und zu bewerten. Am Standort sind zwei WEA vom Typ E-175 EP5 E2 - 7MW geplant.

Die in dieser Risikoanalyse zugrunde gelegten Rahmenbedingungen und Berechnungen zum Eiswurf und Eisfall stützen sich auf die aktuellen Richtlinien der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] zur Risikobewertung von Eiswurf und Eisfall bei WEA.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens muss nachgewiesen werden, dass die öffentliche Sicherheit durch die jeweils geplante WEA nicht beeinträchtigt wird. In der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] werden Mindestabstände aufgrund der Gefahr durch Eisfall und Eiswurf festgelegt. Gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] gelten Abstände größer als 1,5·(Rotordurchmesser + Nabenhöhe) in Regionen mit geringer Eisgefährdung als ausreichend. Werden diese Abstände nicht eingehalten, ist eine Risikoanalyse eines Sachverständigen erforderlich.
Im Rahmen dieser Relevanzprüfung werden schutzbedürftige Objekte identifiziert. Für diese Objekte wird eine Detailanalyse durchgeführt. Diese Objekte werden im folgenden Bericht als Schutzobjekte bezeichnet.

Die Erstellung des Gutachtens Eisrisikoanalyse am Standort Borchen erfolgt nach folgendem Ablauf:

- Darstellung der Standortdaten und WEA-Konfiguration
- Definieren der relevanten Schutzobjekte in der möglichen Gefährdungszone
- Detailanalyse von individuellen und kollektiven Risiken
- Risikobewertung auf Grundlage der vorhergegangenen Ergebnisse

Im beigefügten Lageplan 3.1 sind die zu untersuchenden WEA am Standort dargestellt. Die Kreisfläche um die WEA kennzeichnet den potenziellen Risikobereich (1,5 · (Rotordurchmesser + Nabenhöhe)) um die jeweils geplante WEA, der für die Relevanzuntersuchung des Eiswurfs und Eisfalls ausschlaggebend ist.

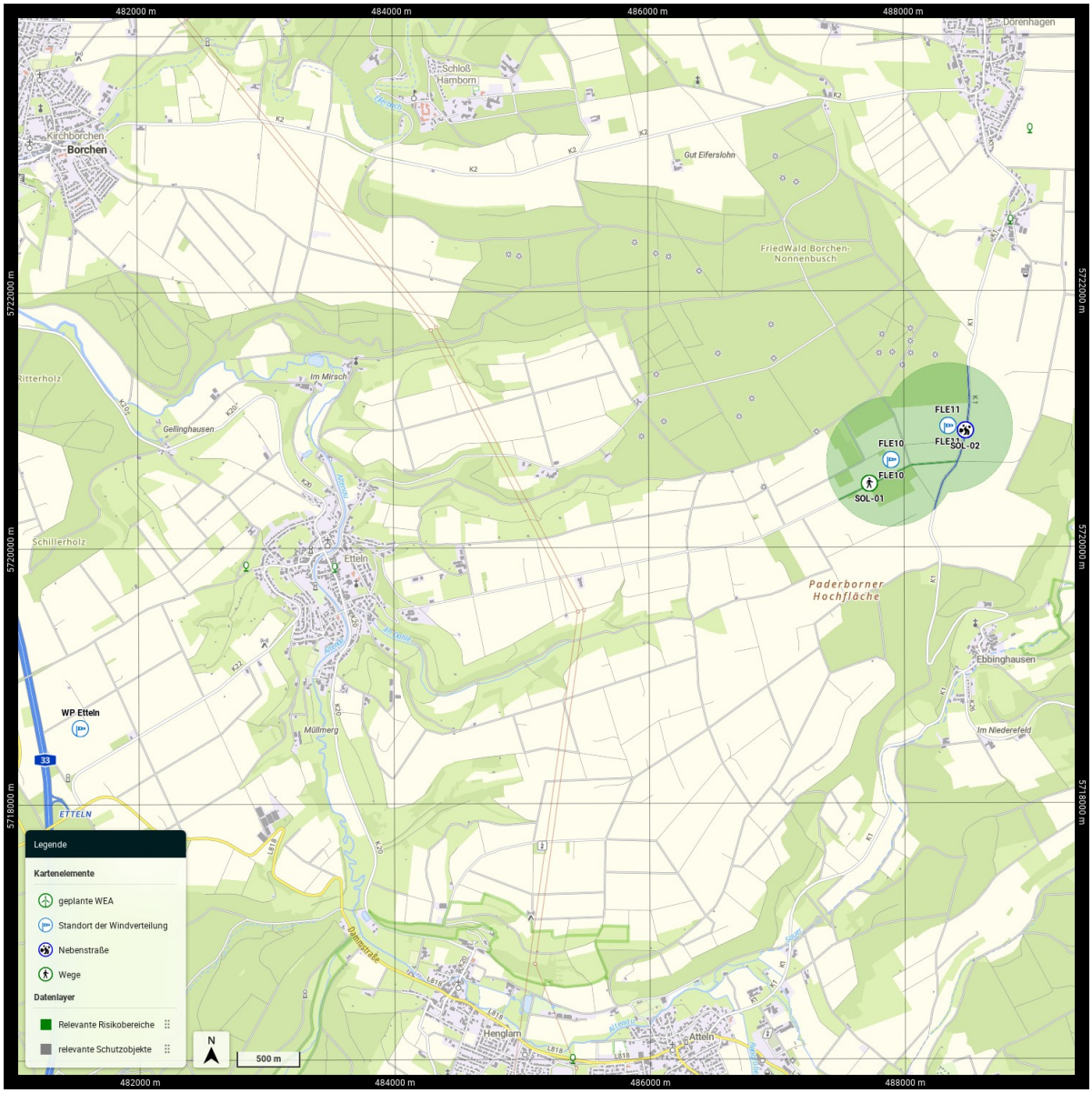


Abbildung 3.1: Lageplan des untersuchten Standortes mit den untersuchten WEA und den Windverteilungspositionen. Zusätzlich sind die potenziellen Risikobereiche der geplanten WEA dargestellt. [Bun]

4 Grundlagen

Die folgende Risikobewertung ist daran orientiert die Regelungen der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] einzuhalten. In der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] wird definiert, dass Abstände zu Verkehrswegen und Gebäuden unbeschadet der Anforderungen aus anderen Rechtsbereichen wegen der Gefahr des Eisabwurfes einzuhalten sind, soweit eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit nicht auszuschließen ist. Abstände größer als 1,5 · (Rotordurchmesser + Nabenhöhe) gelten im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. In anderen Fällen ist die Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich. Wenn der Mindestabstand nicht eingehalten wird, ist eine Risikobewertung durch Eiswurf und Eisfall standortspezifisch durchzuführen.

Durch funktionierende Systeme zur Eiserkennung oder Systeme bei denen Eisansatz verhindert wird, kann bei der Risikobewertung auf die Betrachtung des Eiswurfes verzichtet werden. Für diesen Fall wird nur der Eisfall einer WEA im Stillstand bzw. im Taumelbetrieb berücksichtigt. Der Taumelbetrieb ist mit einer niedrigen Rotordrehzahl definiert, welches einen erheblichen Einfluss auf die Flugweiten der Eisfragmente hat.
Abhängig von den Vereisungsbedingungen kann es an den Rotorblättern einer WEA zu starken Eisablagerungen kommen, die dazu führen können, dass mehrere Kilogramm schwere Eisfragmente abfallen und eine Gefahr darstellen. Es wird begrifflich zwischen Eisfall, dem Ablösen von Eisfragmenten während des Stillstands oder des Taumelbetriebs, und Eiswurf, dem Ablösen von Eisfragmenten während des Betriebs, unterschieden. Auch wenn Eisfall von der Gondel grundsätzlich zum Risiko beitragen kann, werden dennoch die abgeworfenen Eisfragmente durch Eisfall oder Eiswurf von den Rotorblättern als Hauptquelle des Risikos angenommen. Sowohl bei Eiswurf als auch beim Eisfall übt der Wind zusätzliche Kräfte auf die abgelösten Eisfragmente aus. Hierdurch können die Eisfragmente besonders bei Sturm über weite Strecken befördert werden. Gleiches gilt auch bei abfallendem Gelände.

Auf der Rotorblattoberfläche tritt eine Vereisung ein, wenn unterkühlte Wassertropfen auf das Rotorblatt treffen oder die Temperatur der Oberfläche des Rotorblatts unterhalb vom Gefrierpunkt liegt und Wasserdampf direkt resublimiert. Unterhalb des Gefrierpunkts bildet sich beim Auftreffen von Wassertropfen sofort Eis. Bis -4°C erfolgt die Bildung von Klareis verzögert. Bei tieferen Temperaturen dominiert Raueis mit geringer Haftung und rauer Oberfläche. An den Profilkanten der Rotorblätter entstehen unterhalb von -10°C größere Raureifablagerungen, die jedoch keine signifikante Gefahr für Eisfall oder Eiswurf darstellen.

Generell sollten bei der Gefährdung durch Eisfall bzw. Eiswurf daher zwischen großflä-

chigen Eisplatten, die sich über einen großen Bereich der Profiltiefe ausbilden können und schlankeren Eisfragmenten, die von der Profilkante abbrechen, unterschieden werden. Hinweise zu Form und Masse von Eisfragmenten finden sich z.B. in der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22].

Aufgrund der erheblichen jährlichen Schwankungen der Vereisungstage sind langjährige Messungen erforderlich, die idealerweise einen klimatologischen Zeitraum von 30 Jahren abdecken. Solche Langzeitmessungen oder Beobachtungen sind in Deutschland beispielsweise in Bodennähe an den Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verfügbar. Allerdings sind Messungen in Bodennähe starken mikroskaligen Einflüssen ausgesetzt, sodass die Aussagekraft in Bezug auf Vereisung schon nach wenigen hundert Metern deutlich abnimmt, insbesondere wenn sich in lokalen Senken kalte Luft ansammelt. Diese mikroskaligen Effekte treten auf Nabenhöhe von WEA normalerweise nicht mehr auf und lassen sich kaum identifizieren oder korrigieren. Darüber hinaus müssen die Daten der Klimastationen oft über Entfernungen von mehr als 10 km und auf unterschiedliche Höhen über dem Meeresspiegel übertragen werden, was zu erheblichen Unsicherheiten in der Vorhersage der Vereisungstage führt.

Eine weitere mögliche Quelle sind großflächige Vereisungskarten, wie sie beispielsweise in der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] dargestellt sind. Diese Karten bieten jedoch nur Anhaltspunkte und allgemeine Tendenzen. In [B. 00] wird betont, dass die tatsächlichen Werte im Gegensatz zu den auf den großflächigen Karten dargestellten Werten bereits auf kurzen Distanzen stark variieren können und die lokale Geländetopografie berücksichtigt werden sollte. Die daraus resultierenden Unterschiede in der Einschätzung der Vereisungstage können extrem groß sein, wodurch diese Karten selbst zur Plausibilisierung lokaler Vereisungsdaten nur sehr eingeschränkt geeignet sind.

Für Deutschland ist eine hochaufgelöste Vereisungskarte des DWD, die die lokale Topografie berücksichtigt, vorhanden [DWD18]. Diese Karte stellt vor dem Hintergrund der dargestellten Unsicherheiten die derzeit beste Datengrundlage zur Ermittlung der Vereisungstage für Standorte in Deutschland dar.

4.1 Modellierung und Simulation von Eiswurf und Eisfall

Für die Detailanalyse des Gefährdungspotenzials von Eiswurf bzw. Eisfall von WEA auf Schutzobjekte ist eine Simulation der Trefferhäufigkeiten um die WEA notwendig. Daher ist die Flugbahn der Eisfragmente zu modellieren.
Im Bericht wird der Ansatz nach Biswas, Taylor & Salmon [S. 11] als geeignetes Flugbahnmodell identifiziert und verwendet. Dieser beschäftigt sich mit der mathematischen Erfassung der Flugbahn eines Eisfragments von der Loslösung vom Rotorblatt bis zum Aufschlag auf dem Boden. Die Modellierung und Simulation von Eiswurf und Eisfall orientiert sich an Empfehlungen der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22]. Das Modell basiert auf einem System von Differentialgleichungen, welches insbesondere die Masse des Eisfragments, dessen Querschnittsfläche, die Windgeschwindigkeit, den Luftwiderstand und die Gravitationskraft als Parameter miteinbezieht. Anhand der Gleichungen kann berechnet werden, welche Position und Geschwindigkeit ein Eisfragment über die Zeit vom Rotorblatt bis zum Aufprall einnimmt. Gemäß den Empfehlungen sind die Parameter des mathematischen Modells wie z.B. Position und Form der Eisfragmente statistisch zu variieren.

4.1.1 Simulation der Trajektorie

Ein Koordinatensystem wird so konstruiert, dass die Windgeschwindigkeit in x-Richtung zeigt und der Koordinatenursprung im Fußpunkt der WEA liegt (siehe Abbildung 4.1). Außerdem wird angenommen, dass die Windenergieanlage optimal ausgerichtet ist, die Rotorfläche also in der y-z-Ebene liegt.
Die Bewegung eines Eisfragments, das von der Windenergieanlage abgeworfen wird, kann dann durch folgende Differentialgleichung modelliert werden:

$$\begin{aligned} m\frac{d^2x}{dt^2} &= -\frac{1}{2}\rho C_D A\left(\frac{dx}{dt} - U(z)\right)|V|, \\ m\frac{d^2y}{dt^2} &= -\frac{1}{2}\rho C_D A\left(\frac{dy}{dt}\right)|V|, \\ m\frac{d^2z}{dt^2} &= -mg - \frac{1}{2}\rho C_D A\left(\frac{dz}{dt}\right)|V|. \end{aligned} \tag{4.1}$$

Dabei sind x, y, z die kartesischen Koordinaten für die Position des Eisfragments, C_D, A und m bezeichnen den Luftwiderstandsbeiwert, die Querschnittsfläche und die Masse des Eisfragments, t ist die Zeit, ρ bezeichnet die Luftdichte, g die Erdbeschleunigung, U(z) die Windgeschwindigkeit (WS) in Abhängigkeit von der Höhe z, und $|V|$ die relative Windgeschwindigkeit.

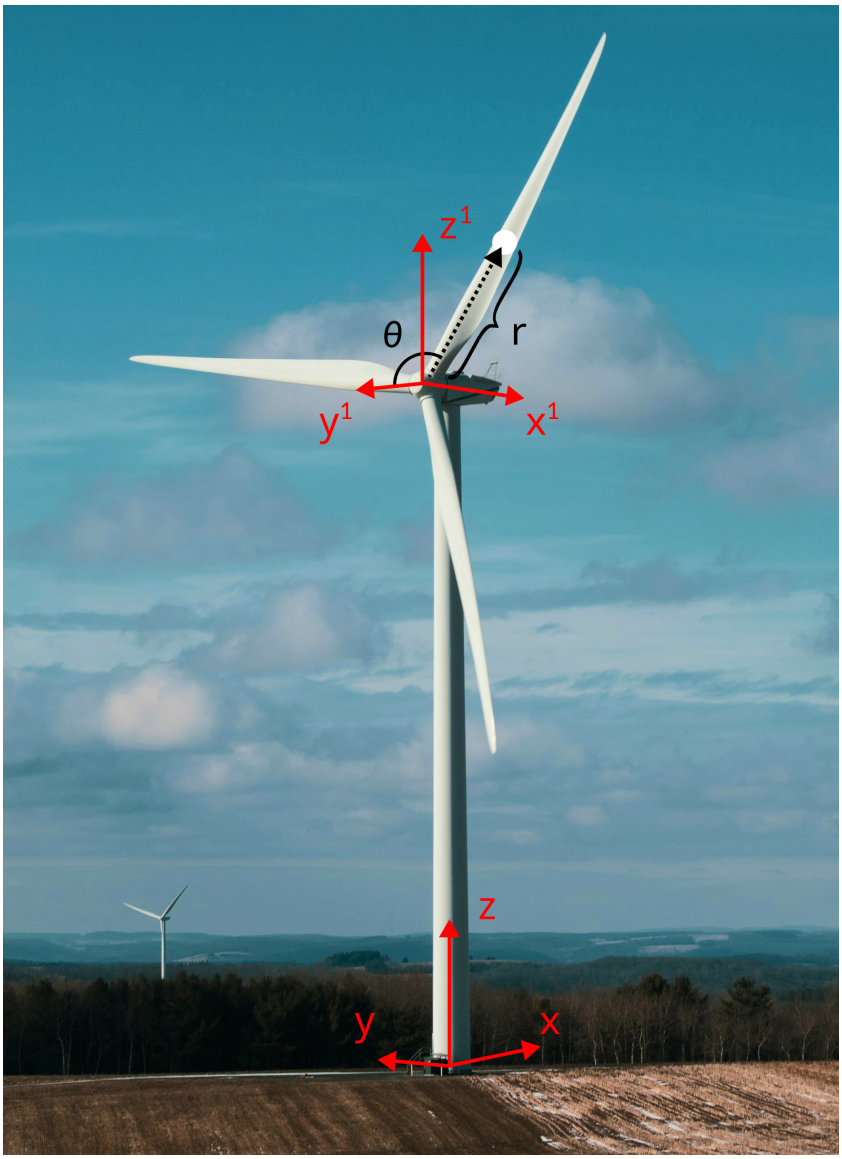


Abbildung 4.1: Koordinatensystem (x, y, z) zur Berechnung der Trajektorie. Die Windrichtung zeigt entlang x. Das System (x', y', z') ergibt sich aus (x, y, z) durch Translation vom Fußpunkt zur Nabe und veranschaulicht die Definition von r und θ, welche den initialen Ort des Eisfragments parametrisieren. Foto: Ilja Nedilko.

$$|V| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} - U(z)\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \tag{4.2}$$

Die Windgeschwindigkeit U(z) wird über das logarithmische Windprofil modelliert.

$$U(z) = \left(\frac{u_*}{k}\right) \ln\left(\frac{z + z_0}{z_0}\right) \tag{4.3}$$

Dabei sind u_* die Schubspannungsgeschwindigkeit, k die Kármán-Konstante, z die Höhe über dem Boden, und z_0 die Rauhigkeitslänge des Bodens.
Um Gleichung (4.1) numerisch zu integrieren werden die Anfangsbedingungen benötigt. Dazu wird der Punkt an dem sich das Eisfragment ablöst mithilfe des Ablöse-Winkels θ (siehe Abbildung 4.1) und des Ablöse-Radius' r, welcher dem Abstand zur Nabe entspricht, parametrisiert. Unter der Annahme, dass sich das Eisfragment ablöst ohne dabei kinetische Energie zu verlieren, ergeben sich der initiale Ort und die initiale Geschwindigkeit als

$$r_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ r\cos(\theta) \\ r\sin(\theta) + NH \end{pmatrix}, \quad v_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ -r\omega\sin(\theta) \\ r\omega\cos(\theta) \end{pmatrix}. \tag{4.4}$$

Hierbei ist ω die Winkelgeschwindigkeit des Rotors und NH die Nabenhöhe. Das Vorzeichen von v_0 muss umgedreht werden falls die WEA gegen den Uhrzeigersinn rotiert.
Von besonderem Interesse ist der Punkt an dem das Eisfragment auf den Boden auftrifft. Um diesen zu berechnen wird der Schnittpunkt der Trajektorie mit einem digitalen Geländemodell berechnet.

4.1.2 Monte Carlo Simulation

Um festzustellen wohin Eisfragmente geworfen werden, wird die Bewegungsgleichung (4.1) für sehr viele verschiedene Anfangsbedingungen und Umgebungsparameter numerisch integriert (6 mal pro WEA). Die Parameter, die in (4.1) eingehen werden wie folgt generiert:

Ablöse-Radius r: Der Ablöse-Radius wird zufällig entsprechend einer Gleichverteilung aus dem Intervall [0, R] gewählt, wobei R der Rotor-Radius ist.

Ablöse-Winkel θ: Der Ablöse-Winkel wird zufällig entsprechend einer Gleichverteilung aus dem Intervall [0, 2π] gewählt.

Luftdichte ρ: Die Luftdichte wird aus einer metereologischen Datenbank entnommen.

Luftwiderstandsbeiwert C_D: Der Luftwiderstandsbeiwert wird in Einklang mit Ref. [IEA22] als konstant mit $1,0$ angenommen.

Erdbeschleunigung g: Die Erdbeschleunigung wird als konstant mit $g = 9,81 m/s^2$ angenommen.

Verhältnis von Fläche A zu Masse m: Da m und A nicht separat sondern nur als Verhältnis A/m in eq. (4.1) eingehen, genügt es einen realistischen Wert für A/m zu wählen. In der Literatur gibt es einige Studien bei denen die von einer Windenergieanlage abgeworfenen Eisfragmente vermessen wurden. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messgröße A/m wurde in Ref. [IEA22] als Histogramm geschätzt indem die Ergebnisse mehrerer Studien kombiniert wurden. Für jeden simulierten Eiswurf wird die Größe A/m entsprechend der Verteilung aus Ref. [IEA22] zufällig gewählt.

Rauhigkeitslänge z_0: Die Rauhigkeitslänge wird über Corine Land Cover daten berechnet.

Schubspannungsgeschwindigkeit u: Die Verteilung der Windgeschwindigkeit bei bekannter Höhe wird aus der Weibullverteilung entnommen. Für jeden simulierten Eiswurf wird eine Geschwindigkeit entsprechend dieser Verteilung zufällig gewählt. Die Schubspannungsgeschwindigkeit u lässt sich dann aus eq. (4.3) berechnen, da für einen Wert von z die Windgeschwindigkeit U(z) bekannt und u die einzige Unbekannte in eq. (4.3) ist.

Kármán-Konstante k: Die Kármán-Konstante wird mit $k = 0,4$ angenommen.

Windrichtung: Eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Windrichtung wird aus einer metereologischen Datenbank entnommen. Entsprechend dieser Verteilung wird die Windrichtung zufällig gewählt.

Winkelgeschwindigkeit des Rotors ω: Sobald die Windgeschwindigkeit gewählt wurde, kann die Winkelgeschwindigkeit des Rotors aus der ω(v)-Kurve der WEA berechnet werden.

4.2 Methoden der Risikoabschätzung

Entsprechend den Empfehlungen der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] sind Risikoanalysen das passende Mittel, um qualitative oder quantitative Beschreibungen von bestehenden Unsicherheiten vorzunehmen und die Auswirkungen verschiedenster Entscheidungsmöglichkeiten zu bewerten. Das Risiko ist das Produkt aus Schadenshöhe und Häufigkeit. Hierbei ist eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit umso akzeptabler, je geringer der Schaden eingeschätzt wird. Umgekehrt erfordert ein eventuell hoher Schaden ggf. eine Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit. Diese Komponenten sind im Einzelfall gegeneinander auszugleichen. Dabei lässt sich keine exakte Grenze zwischen einem akzeptablen und einem inakzeptablen Risiko definieren. Vielmehr existiert ein Übergangsbereich, in dem Verbesserungen möglich und sinnvoll sind.

Die Wahrscheinlichkeit des Eintritts von Eisfall und Eiswurf wird am Standort der geplanten WEA im Rahmen dieser Eisrisikoanalyse ermittelt. Darauf aufbauend kann bestimmt werden, wie wahrscheinlich es ist, an diesem Standort durch ein Eisfragment getroffen zu werden. Zudem wird das Gebiet um die WEA in verschiedene Zonen und deren Frequentierungshäufigkeit durch z.B. Passanten oder Fahrzeuge aufgeteilt.

Abhängig vom jeweiligen Szenario sind verschiedene Ansätze für unterschiedliche Gruppen an Individuen, die eine WEA passieren (z.B. Fußgänger, Autoverkehr), zu wählen, um eventuelle Konsequenzen eines Eiswurfs abzuschätzen. So sind z.B. Personen in Autos besser geschützt als beispielsweise Fußgänger. Gemäß der [IEA22] dient die Probit-Funktions-Methode in diesem Zusammenhang dazu, die Sterblichkeitsrate von ungeschützten Personen abhängig von der Auftreffenergie eines Objektes zu berechnen.

Teil der Risikoanalyse ist es zudem, die Aufenthaltshäufigkeit und -dauer einer Person im Umkreis der WEA zu ermitteln. Dafür soll nicht nur das individuelle, sondern auch das kollektive Risiko bestimmt werden. Dies erfordert die Unterteilung der durchschnittlich ermittelten Zahl an Passanten und Fahrzeugen in ihrer Bewegung auf unterschiedliche Wege-Kategorien (häufig, regelmäßig, wenig und unbenutzte Wege). Bei Autobahnen und Bundesstraßen kann auf Zählungen zurückgegriffen werden; bei Wanderwegen ist hingegen eine Schätzung vorzunehmen. Die Expositionszeiten sollten für Tätigkeiten ermittelt werden, wie diese unter Eisfall- bzw. Eiswurfbedingungen auftreten.

4.3 Risikobewertung

4.3.1 Grenzwerte für individuelles Risiko

Die Grenzwerte für das individuelle Risiko werden mithilfe des MEM-Kriteriums bestimmt. Der Grundsatz der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) gemäß [Deu00] besagt, dass ein neues technisches System nicht zu einer signifikanten Erhöhung des individuellen Risikos im Vergleich zur minimalen endogenen Sterblichkeitsrate führen darf. Die minimale endogene Sterblichkeit in entwickelten Ländern findet sich in der Gruppe der 5- bis 15-jährigen. Sie liegt bei $2 \cdot 10^{-4}$ Todesfällen pro Person und Jahr. Damit sich die endogene Sterblichkeitsrate nicht nennenswert erhöht, wird gefordert, dass die mit einer neuen Technologie verbundene Sterblichkeit nicht mehr als 10^{-5} pro Person und Jahr betragen darf. Risiken, die über diesen Wert hinausgehen sind folglich nicht akzeptabel.

4.3.2 Grenzwerte für kollektives Risiko

Bei der Bewertung von Schutzobjekten, bei denen sich eine größere Anzahl von Personen in der Nähe der WEA aufhält wie zum Beispiel bei Verkehrswegen, so ist das Kollektivrisiko zu bewerten. Gemäß [IEA22] sind die Grenzwerte für das Kollektivrisiko definiert. Diese liegen für das Kollektivrisiko zwei Zehnerpotenzen oberhalb des MEM-Kriteriums und somit bei 10^{-3} Todesfällen pro Jahr.

Gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] kann für das Risiko im Straßenverkehr der Grenzwert für das kollektive Risiko basierend auf vorliegende Unfallstatistiken ermittelt werden. Diese Vorgehensweise findet in Deutschland Anwendung für Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen. Gemäß Bundesanstalt für Straßenwesen [Ber17] werden die Statistiken zu den Verunglückten und Schwerverletzten verwendet und in Kombination mit der Inlandsfahrleistung das Risiko ermittelt. Entsprechend der grundsätzlichen Idee des MEM-Kriteriums wird auch hier gefordert, dass ein bestehendes Risiko nicht nennswert erhöht werden darf. Der anzusetzende Grenzwert für eine inakzeptable Gefährdung durch Eiswurf oder Eisfall wird daher eine Größenordnung niedriger als das bestehende Risiko gewählt. [IEA22]

4.3.3 Risikobewertung

Die International Energy Agency (IEA) hat auf internationaler Ebene Empfehlungen für die Risikobewertung von Eisfall und Eiswurf erarbeitet. Gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] ist in Abhängigkeit vom Schutzobjekt das individuelle oder kollektive Risiko zugrunde zu

legen. Dies erfolgt abhängig von der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen. Hierbei gilt in Anlehnung an die IEA folgende Aufteilung:

- individuelles Risiko:
  - Radwege, Fußgängerwege, Straßen und Wege mit geringer Frequentierung, Wirtschaftswege
  - landwirtschaftliche und wohnlich genutzte Gebäude
- kollektives Risiko:
  - öffentliche Straßen, Autobahn, Bundesstraße, Kreisstraße, Landstraße
  - Bahnschienen
  - öffentliche Versammlungsstätte, Sportstätten, Parkplätze
  - Industriegelände

Das MEM-Kriterium definiert für das individuelle Risiko dabei die Obergrenze des sogenannten ALARP-Bereichs. Risiken die höher als das MEM-Kriterium liegen, sind demnach nicht akzeptabel.

Die Grenzwerte für das kollektive Risiko werden mithilfe des ALARP-Prinzps bestimmt. Das ALARP-Prinzip (as low as reasonably practicable) teilt Risiken in vier Bereiche ein: allgemein akzeptabler Bereich (1), unterer Toleranzbereich (2) oberer Toleranzbereich (3) und inakzeptabeler Bereich (4). Eine dahingehende Kategorisierung soll nach relevanten statistischen Daten aus dem jeweiligen Bereich erfolgen.

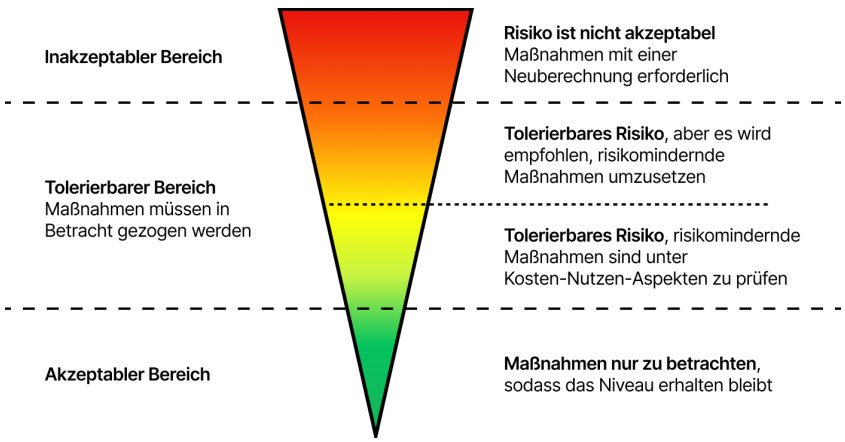


Abbildung 4.2: ALARP-Prinzip.

Für die Bewertung des kollektiven Risikos sind dabei die Risiken aller zu betrachtenden Personengruppen zu addieren. Für die Bewertung des individuellen Risikos ist das kritische Individuum maßgeblich, das aufgrund seiner Nutzung der Schutzobjekte dem höchsten Risiko ausgesetzt ist. Das individuelle Risiko ist im Gegensatz zum kollektiven Risiko daher nicht von der Gesamtzahl der Personen abhängig, die die Schutzobjekte frequentieren. Auf kleineren Wegen, auf denen nur eine geringe Fahrgeschwindigkeit von Kfz zu unterstellen ist, ist das kritische Individuum z.B. in der Regel der ungeschützte Fußgänger oder Radfahrer.

Das individuelle Risiko ist in der Regel für stark genutzte überregionale Verkehrswege wie Autobahn und Bundesstraßen nicht maßgeblich. Für fast alle anderen Straßen ist das individuelle Risiko dort maßgeblich an den Stellen an denen ungeschützte Personen zu erwarten sind.

Entsprechend dem ALARP-Prinzip werden unterhalb des inakzeptablen Bereichs weitere Risikobereiche definiert, die unterschiedliche Maßnahmen zur Risikominimierung erfordern. Das MEM-Kriterium definiert für das individuelle Risiko dabei die Obergrenze des ALARP-Bereichs. Risiken die höher als das MEM-Kriterium liegen, sind demnach nicht zu akzeptieren.

Tabelle 4.1: Individuelle und kollektive Risikoeinstufung gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22]

kollektives Risiko	**individuelles Risiko**	**Bewertung**
$> 10^{-3}$	$> 10^{-5}$	Das Risiko ist inakzeptabel. Es müssen Maßnahmen zur Risikominderung vollzogen werden.
10^{-4} bis 10^{-3}	10^{-6} bis 10^{-5}	Das Risiko ist hoch und liegt im oberen ALARP-Bereich. Es sind die bekannten Maßnahmen zur Risikominderung anzuwenden, um das Risiko zu verringern.
10^{-5} bis 10^{-4}	10^{-7} bis 10^{-6}	Das Risiko ist tolerierbar und liegt im unteren ALARP-Bereich. Wenn Maßnahmen zur Risikominderung unter Kosten-Nutzen-Faktoren umsetzbar sind, sollten diese umgesetzt werden.
$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	Das Risiko ist akzeptabel. Es sind keine weiteren Maßnahmen zu vollziehen.

Wie aus der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] hervorgeht, unterscheiden sich die Risikowerte zwischen kollektivem und individuellem Risiko um zwei Größenordnungen (Zehnerpotenzen). Gemäß der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] gibt es hierfür keine strikten Risikoakzep-

tanzkriterien als Grenzwert, da es manchmal Grenzen gibt, wie z.B. ein besonderes öffentliches Interesse, das ein Argument für die Akzeptanz höherer Risiken in einem bestimmten Gebiet sein kann. Durch die vorangegangene Tabelle lässt sich zusammenfassen, dass...

- wenn die berechneten Risiken kleiner als 10^{-5} (kollektiv) und 10^{-7} (individuell) sind, sind keine Maßnahmen erforderlich.
- wenn die berechneten Risiken größer als 10^{-3} (kollektiv) und 10^{-5} (individuell) sind, ist das Risiko inakzeptabel und die Planung der WEA muss signifikant verändert werden.
- Im Bereich zwischen den Grenzwerten wird standortbezogen geprüft, inwieweit Maßnahmen anzuwenden sind oder empfohlen werden.

4.3.4 Annahmen der Bewertung

Zur Risikobewertung des individuellen Risikos wird ein Grenzwert festgelegt, welcher nicht überschritten werden darf. Hierfür finden sich in der Literatur zwei verschiedene Verfahren die einen Grenzwert für ein Todfallrisiko zur Geltung bringen. Einerseits wird für das individuelle Risiko das MEM-Kriterium verwendet. Andererseits wird gemäß Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen [J. 18] für das gesellschaftlich akzeptierte Todesfallrisiko in Abhängigkeit vom Grad der Freiwilligkeit und möglichen Einflussnahme auf die Handlung dargestellt. Die Risikoakzeptanz sinkt, sofern sich die Person nicht freiwillig der Gefährdung ausgesetzt oder keine Möglichkeit durch eigenes Handeln sich zu schützen hat. Hierbei gilt auch der Grenzwert der maximalen Häufigkeit bei nicht mehr als 10^{-5} pro Person und Jahr.

An dieser Stelle wird das MEM-Kriterium als absoluter Grenzwert gerechtfertigt, da sich Individuen im Normalfall weder freiwillig in diese Lage bringen noch kann durch selbstständige Einflussnahme das Risiko signifikant minimiert werden. Es wird eine konservative Vorgehensweise gewählt. Ein Treffer des Eisfragments auf eine ungeschützte Person führt immer zu einer schweren Verletzung oder zum Tod. Ein Treffer des Eisfragments auf eine geschützte Person (z.B. Person im Fahrzeug) führt immer zu einer schweren Verletzung oder zum Tod der Insassen. Die durchschnittliche Anzahl von Personen in einem Fahrzeug beträgt gemäß [heu18] 1,46 Personen pro Pkw. Durch das Ausschließen der Unterscheidung von leichter und schwerer Verletzung wird eine vereinfachte konservativere Vorgehensweise gewählt, da eine Unterscheidung schwierig darstellbar ist und eine größere Unsicherheit mit sich bringt.

Für einen Treffer eines Eisfragments auf einen Zug ist auch das MEM-Kriterium als absoluter Grenzwert gerechtfertigt, da sich Individuen im Normalfall weder freiwillig in diese

Lage bringen noch kann durch selbstständige Einflussnahme das Risiko signifikant minimiert werden. Es wird eine konservative Vorgehensweise gewählt, so wird davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Personenanzahl in einem Zug 50 Personen beträgt. Hierbei wird nicht zwischen Personen- und Güterzug unterschieden. Nicht jeder Treffer eines Eisfragments führt unmittelbar zum Tod oder eine Gefährdung der einzelnen Personen. In Folge dessen wird ein Korrekturfaktor von 0,002 gerechtfertigt, da es aus Folgeschäden zu einem Personenrisiko führen kann.

Für Schutzobjekte, bei denen sich eine größere Anzahl von Personen in der Nähe der WEA aufhalten, wird das resultierende Kollektivrisiko bewertet. Gemäß der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] kann für das Risiko im Straßenverkehr auf Grundlage der Unfallstatistiken ermittelt werden. Dieses Vorgehen ist für Straßen wie Autobahn, Kreisstraße, Bundesstraße und ähnlich befahrene Straßen anwendbar. Der Ansatz für die Betrachtung des Kollektivrisikos ist, dass das grundsätzliche MEM-Kriterium nicht signifikant erhöht werden darf. Das bestehende Risiko darf somit durch den Neubau von Technologien nicht vergrößert werden. Der anzusetzende Grenzwert für ein Kollektivrisiko liegt somit bei 10^{-3} Todesfällen pro Jahr.

4.4 Risikominderung

4.4.1 Quantitative Maßnahmen

Gemäß der IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] bedeuten quantitative Maßnahmen, dass der Maßnahme ein Wirkungsgrad zugeordnet werden kann. Dieser kann durch einen Risikominderungsfaktor (RRF) ausgedrückt werden, um den das Risiko verringert wird. In dieser Terminologie bedeutet ein RRF von z.B. 10, dass eine Sicherheitsmaßnahme das Risiko um den Faktor 10 verringert. In der folgenden Tabelle sind die gebräuchlichsten quantitativen Maßnahmen mit einer vorgeschlagenen Spanne für den RRF aufgeführt.

Tabelle 4.2: Quantitative Maßnahmen gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22]

Sicherheitsmaßnahmen	Risikominderungsfaktor (RRF)	geeignet für
Warnschilder für Eisfallbedingungen	1 bis 10	kleinere Straßen und Wege
Warnleuchten (gekoppelt mit dem Eiserkennungssystem) in Kombination mit Warntafeln	10 bis 100	kleinere Straßen und Wege

Tabelle 4.2: Fortsetzung: Quantitative Maßnahmen gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22]

Sicherheitsmaßnahmen	Risikominderungsfaktor (RRF)	geeignet für
Fester Azimutwinkel der Gondel (optimiert für das zu schützende Objekt)	10 bis 100	Landes- und Kreisstraßen sowie kleinere Straßen und Wege
Physische Barrieren wie Schranken sofern dies vor Ort umgesetzt werden kann	10 bis 100	Landes- und Kreisstraßen sowie kleinere Straßen und Wege

Die maximal erreichbare Risikominderung beträgt 100. Die nächste Größenordnung (1000) ist nicht zu erreichen, da menschliche Fehler berücksichtigt werden müssen. Folglich kann durch die in 4.2 genannten quantitativen Maßnahmen ein Risiko aus dem inakzeptablen Bereich nicht in den akzeptablen Bereich verschoben werden.

4.4.2 Maßnahmen, die eine Neuberechnung erfordern

Wenn die in Kapitel 4.4.1 genannten quantitativen Maßnahmen nicht umgesetzt werden können, oder nicht zur erforderlichen Risikominderung führen, sind andere Maßnahmen notwendig, die oft Veränderungen der WEA-Konfiguration oder bauliche Maßnahmen bedeuten und daher oftmals eine Neuberechnung des Projektes erfordern. Folglich sind gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] Maßnahmen aufgeführt, die oftmals eine Neuberechnung erfordern.

Tabelle 4.3: Maßnahmen, die eine Neuberechnung erfordern gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22]

Sicherheitsmaßnahmen	geeignet für
Fester Azimutwinkel der Gondel (optimiert für das zu schützende Objekt)	Neuberechnung erforderlich, da die Fixierung des Gondel-Azimutwinkels auch zu einer Risikoerhöhung führen kann (je nach Standortfaktoren)
Neue WEA-Abmessungen (Verringerung des RD oder der NH)	Neuberechnung erforderlich
WEA-Standort verlegen	Neuberechnung erforderlich

Tabelle 4.3: Fortsetzung: Maßnahmen, die eine Neuberechnung erfordern gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22]

Sicherheitsmaßnahmen	geeignet für
Verlegung des betroffenen Schutzobjektes (z.B. Straße / Wege)	Grundsätzlich ist eine Neuberechnung erforderlich, außer das neue Schutzobjekt wird nicht von Eis getroffen
Verlegung des betroffenen Schutzobjektes (z.B. Straße / Wege) im Winter	Grundsätzlich ist eine Neuberechnung erforderlich, außer das neue Schutzobjekt wird nicht von Eis getroffen.
Anpassung der Betriebs- und Anlageneigenschaften	Neuberechnung erforderlich, Methoden zur Eiserkennung und des Wiederanlaufverhaltens können das Risiko verringern

Technische Lösungen wie die Blattheizung wurden nicht in erster Linie entwickelt, um das Risiko zu verringern, aber diese können das Risiko je nach System und Konfiguration verändern.

4.4.3 Qualitative Maßnahmen

Zusätzliche Maßnahmen, die eine Wirkung haben, aber nicht quantitativ bewertet werden können, sollten unabhängig von den oben genannten Maßnahmen ergriffen werden. Hierbei gilt es, dass eine aufklärende Kommunikationsstrategie, um die Bewohner zu informieren sehr wichtig ist. Hierdurch kann langfristig das Verhalten der Anwohner bei Eisfallbedingungen sensibilisiert werden.

4.4.4 Addition von Risiken

Auf kleinen lokalen Straßen, Wegen und Pfaden, wie z.B. Feldwegen und Pfaden, wo das individuelle Risiko zum relevanten Risiko wird, kann eine kritische Person definiert werden. Die kritische Person ist diejenige, für die das Risiko als am höchsten eingeschätzt wird. Das kann z.B. ein Jogger sein, der wöchentlich am Windpark vorbeikommt oder ein Anwohner, der täglich mit seinem Hund spazieren geht. Die Akkumulation der Risiken kann dann auf die WEA beschränkt werden, die ein Risiko entlang der angenommenen Route des kritischen Individuums darstellen. Die Akkumulation mehrerer berechneter Risikowerte muss als eine Ausbreitung von Wahrscheinlichkeiten behandelt werden, die in Termen höherer Ordnung resultieren. Da die Risikowerte im Allgemeinen viel kleiner als 1 sind, können Terme höherer Ordnung in den meisten Fällen vernachlässigt werden. Das Gesamtrisiko wird dann als Summe der Einzelrisiken berechnet. [IEA22]

Es gibt viele Routen in einem verzweigten Verkehrswegenetz innerhalb eines Windparks, die nicht alle betrachtet werden können. Hier genügt es eine repräsentative Route zu wählen, um eine konservative Einschätzung zu garantieren. In der Praxis lässt sich für Wege des regionalen oder des Nahverkehrs wie folgt verfahren.

Zuerst werden die Gefahren ermittelt, mit denen jede einzelne WEA in Bezug auf die verschiedenen Schutzobjekte konfrontiert ist. Wenn hier bereits bestimmte Risiken im oberen ALARP-Prinzip vorliegen, lassen sich die entsprechenden Maßnahmen ableiten. Danach erfolgt die Festlegung einer repräsentativen Route, wofür das Risiko bestimmt und bewertet wird. Möglicherweise lassen sich daraus weitere Maßnahmen zur Risikominderung ableiten. Ist die Summe der Risiken der geplanten WEA unterhalb der jeweils anzusetzenden Grenzwerte (individuell und kollektiv), kann der vorherige Schritt vernachlässigt werden. Dies gilt auch, wenn die Risiken jeweils im uneingeschränkt akzeptablen Bereich liegen. Wenn die Risiken der geplanten WEA für die relevanten Schutzobjekte im unteren ALARP-Bereich liegen, muss im Einzelfall geprüft werden, wie der Beitrag zum Gesamtrisiko einzustufen ist.

5 Eingangsdaten

In den folgenden Abschnitten werden die Eingangsdaten, die zur Risikobewertung von Eiswurf und Eisfall notwendig sind, aufgeführt. Dazu zählen unter anderem die Winddaten und die WEA-Daten. Die Koordinaten in diesem Bericht werden generell im UTM Koordinatensystem in der Zone 32 angegeben. Der zugehörige EPSG Code ist 25832.

5.1 Windenergieanlagen

Die Beurteilung erfolgt für die zwei geplanten WEA vom Typ E-175 EP5 E2 - 7MW.

Tabelle 5.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration und die Angabe ob ein Eiserkennungssystem (EES) bereits verwendet wird

WEA ID	Hersteller	Anlagentyp	P_{Nenn} [kW]	NH [m]	FEH [m]	RD [m]	UTM Ost [m]	UTM Nord [m]	EES?	GW
FLE10	Enercon	E-175 EP5 E2 - 7MW	7.000	162,0	0,0	175,0	487.898,1	5.720.666,6	Ja	-
FLE11	Enercon	E-175 EP5 E2 - 7MW	7.000	162,0	0,0	175,0	488.344,9	5.720.931,6	Ja	-

Aufgrund der vorhandenen Systeme der Eiserkennung kann der Betrieb bei potenziell gefährlichem Eisansatz weitestgehend ausgeschlossen werden. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu beachten.

5.2 Windverteilung

Die am Standort zu erwartenden Windbedingungen werden auf Basis der folgenden, für den geplanten Windparkstandort als repräsentativ angenommen, Windgeschwindigkeitsverteilung ermittelt.

ID: WV0
Standort: -
UTM-Koordinaten: Ost 487.898,1 m | Nord 5.720.666,6 m
Höhe: 162,0 m

Tabelle 5.2: Windgeschwindigkeitsverteilung zu ID WV0

Sektor	A [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	Häufigkeit [%]
N	6,9	2,64	6,16	5,38
NNO	6,7	2,76	5,94	3,29
ONO	7,0	2,72	6,22	3,90
O	7,1	2,79	6,33	5,94
OSO	7,4	2,86	6,59	5,27
SSO	7,7	3,05	6,88	5,50
S	7,7	3,09	6,90	7,93
SSW	7,9	3,00	7,06	11,98
WSW	8,1	2,92	7,21	18,44
W	8,0	2,83	7,13	14,45
WNW	8,3	2,86	7,40	10,07
NNW	7,8	2,70	6,92	7,85
Gesamt	**7,8**	**2,84**	**6,92**	**100,00**

ID: WV1
Standort: -
UTM-Koordinaten: Ost 488.344,9 m | Nord 5.720.931,6 m
Höhe: 162,0 m

Tabelle 5.3: Windgeschwindigkeitsverteilung zu ID WV1

Sektor	A [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	Häufigkeit [%]
N	7,0	2,64	6,20	5,42
NNO	6,7	2,76	5,95	3,30
ONO	7,0	2,72	6,21	3,90
O	7,1	2,79	6,32	5,93
OSO	7,4	2,87	6,58	5,26
SSO	7,8	3,04	6,95	5,48
S	7,7	3,09	6,91	7,97
SSW	7,9	3,00	7,06	12,03
WSW	8,1	2,92	7,22	18,42
W	8,0	2,84	7,10	14,35
WNW	8,3	2,86	7,39	10,06
NNW	7,8	2,70	6,94	7,88
Gesamt	**7,8**	**2,84**	**6,92**	**100,00**

ID: WV2
Standort: -
UTM-Koordinaten: Ost 481.541,0 m | Nord 5.718.583,0 m
Höhe: 136,7 m

Tabelle 5.4: Windgeschwindigkeitsverteilung zu ID WV2

Sektor	**A** [m/s]	**k** [-]	**v_{ave}** [m/s]	**Häufigkeit** [%]
N	6,3	2,76	5,62	5,20
NNO	6,2	2,85	5,56	3,10
ONO	6,5	2,78	5,79	3,70
O	6,8	2,84	6,08	6,10
OSO	7,0	2,90	6,27	5,50
SSO	7,4	3,07	6,61	5,60
S	7,1	3,11	6,34	8,00
SSW	7,0	3,03	6,21	11,70
WSW	7,2	2,96	6,42	18,40
W	7,4	2,89	6,62	14,30
WNW	8,2	2,92	7,33	10,40
NNW	7,7	2,74	6,81	8,00
Gesamt	**7,2**	**2,86**	**6,44**	**100,00**

6 Berechnungsergebnisse

6.1 Vereisungspotential

Im Rahmen des Schweizer Forschungsprojektes „Alpine Test Site Gütsch“ [R. 08] wurden abgefallene bzw. abgeworfene Eisstücke einer WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m statistisch erfasst. Hierbei wurden in vier Jahren mindestens 250 Eisobjekte gezählt. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Tage mit Vereisung des Standorts Gütsch an dem 10 bis 30 Tage mit Vereisung pro Jahr vorliegen, lässt sich die Anzahl der Eisobjekte pro Vereisung bestimmen. Hieraus lässt sich ableiten, dass aufgerundet 7 Eisstücke je Vereisung abfallen bzw. abgeworfen werden. Gemäß des Schweizer Forschungsprojektes „Alpine Test Site Gütsch“ [R. 08] ist davon auszugehen, dass nicht alle Eisobjekte erfasst wurden und aus diesem Grund eine Unsicherheit von 100% angenommen wird. Hieraus ergibt sich ein Wert von 14 Eisobjekten je Vereisung. Zur Bestimmung der Anzahl der Eisobjekte pro Vereisung am geplanten Standort wird das Verhältnis des Rotordurchmessers linear skaliert.[Las00] [IEA22]

Die Anzahl der jährlichen Vereisungen am geplanten Standort wird anhand der Vereisungskarte des Deutschen Wetterdienstes [DWD18] bestimmt. Die Verteilung der Vereisungen erfolgt in räumliche Raster von (1×1) km. Diese Daten wurden aus den Messungen der DWD-Stationen sowie qualitativ vergleichbaren Partnernetzstationen in Deutschland abgeleitet, wobei die Höhenabhängigkeit berücksichtigt wird.

Das Verhältnis multipliziert mit den Eisobjekten pro Vereisung und den Vereisungstagen pro Jahr ergibt die Anzahl der Eisobjekte pro Jahr.

$$\frac{\text{Eisobjekte}}{\text{Jahr}} = A \cdot \frac{RD_{ZB}}{RD_{E\text{-}44}} \cdot \frac{\text{Vereisungen}}{\text{Jahr}} \tag{6.1}$$

mit:

A = 14 $\left[\frac{\text{Eisobjekte}}{\text{Vereisungen}}\right]$ [R. 08]

RD_{ZB} = Rotordurchmesser der geplanten WEA [m]

$RD_{E\text{-}44}$ = Rotordurchmesser der WEA aus dem Forschungsprojekt [m] [R. 08]

Tabelle 6.1: Über das Verhältnis aus dem quadrierten Rotordurchmessern und den Vereisungen pro Jahr können die Eisobjekte pro Jahr abgeschätzt werden

ID	Hersteller	Anlagentyp	RD [m]	Verhältnis	Eisobjekte pro Vereisung	Vereisungen [1/a]	Eisobjekte [1/a]
FLE10	Enercon	E-175 EP5 E2 - 7MW	175,0	3,98	55,68	17,00	947
FLE11	Enercon	E-175 EP5 E2 - 7MW	175,0	3,98	55,68	17,00	947

6.2 Identifikation von relevanten Schutzobjekten

6.2.1 Methodik

Zur Risikobewertung wird ein Radius von 1,5·(Rotordurchmesser + Nabenhöhe) rund um die WEA berücksichtigt. Innerhalb dieses Radius werden sämtliche relevanten Schutzobjekte erfasst und analysiert. Dabei wird, wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben, zwischen individuellem und kollektivem Risiko unterschieden. Die Bewertung der Risiken erfolgt für jedes relevante Schutzobjekte separat.

Die relevanten Schutzobjekte werden mittels amtlichen Karten [Bun] identifiziert und mit Satellitenbildern abgeglichen. Ein Ortstermin im Rahmen der Risikobewertung ist gemäß IEA Wind TCP Task 19 [IEA22] nicht vorgesehen. Es wird jedoch empfohlen, bei nicht eindeutig identifizierbaren Strukturen oder Schutzobjekte eine Standortbesichtigung durchzuführen.

Ein Ortstermin dient nicht zur Bestimmung der Aufenthaltshäufigkeit von Personen in oder auf Schutzobjekten, zur Bestimmung der Frequentierung von Verkehrswegen oder zur Bestimmung der Klimatologie des Standortes.

6.2.2 Zu betrachtende Schutzobjekte

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu betrachtenden Schutzobjekte mit den Abstständen zu den zugehörigen WEA aufgeführt. In der Interaktiven Karte in Kapitel 8 ist die detaillierte Darstellung der zu betrachtenden Schutzobjekte erkennbar. Diese Übersicht dient

dazu, die räumliche Verteilung und die wichtigsten Merkmale der betrachteten Schutzobjekte im Zusammenhang mit den geplanten WEA anschaulich darzustellen.

Tabelle 6.2: Darstellung der relevanten Schutzobjekte, des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA und des minimalen Abstands zur nächstgelegenen WEA im Verhältnis zum 1,5-fachen der Summe aus Rotordurchmesser und Nabenhöhe

SO ID	Bezeichnung	Zusatzbeschreibung des Schutzobjektes	min. Abstand WEA [m]	min. rel. Abstand WEA
SOL-01	Wirtschaftsweg		90	0,18
SOL-02	Kreisstraße K1		138	0,27

Zuwegungen zu den WEA werden in der Regel nicht als Schutzobjekte aufgenommen, da diese Privatwege sind und nicht für den öffentlichen Zugang bestimmt sind. Als risikomindernde Maßnahme wird auf diesen Wegen eine Beschilderung mit Warnhinweisen empfohlen.
In der folgenden Karte werden die Treffer aus der mathematischen Simulation dargestellt. Die Stellen mit einem erhöhten Erwartungswert sind rot markiert, die mit weniger erwarteten Treffern sind gelblicher bis ins grünliche markiert. Im folgenden Kapitel wird aus den erwarteten Treffern und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit das Risiko für die relevanten Schutzobjekte abgeschätzt.

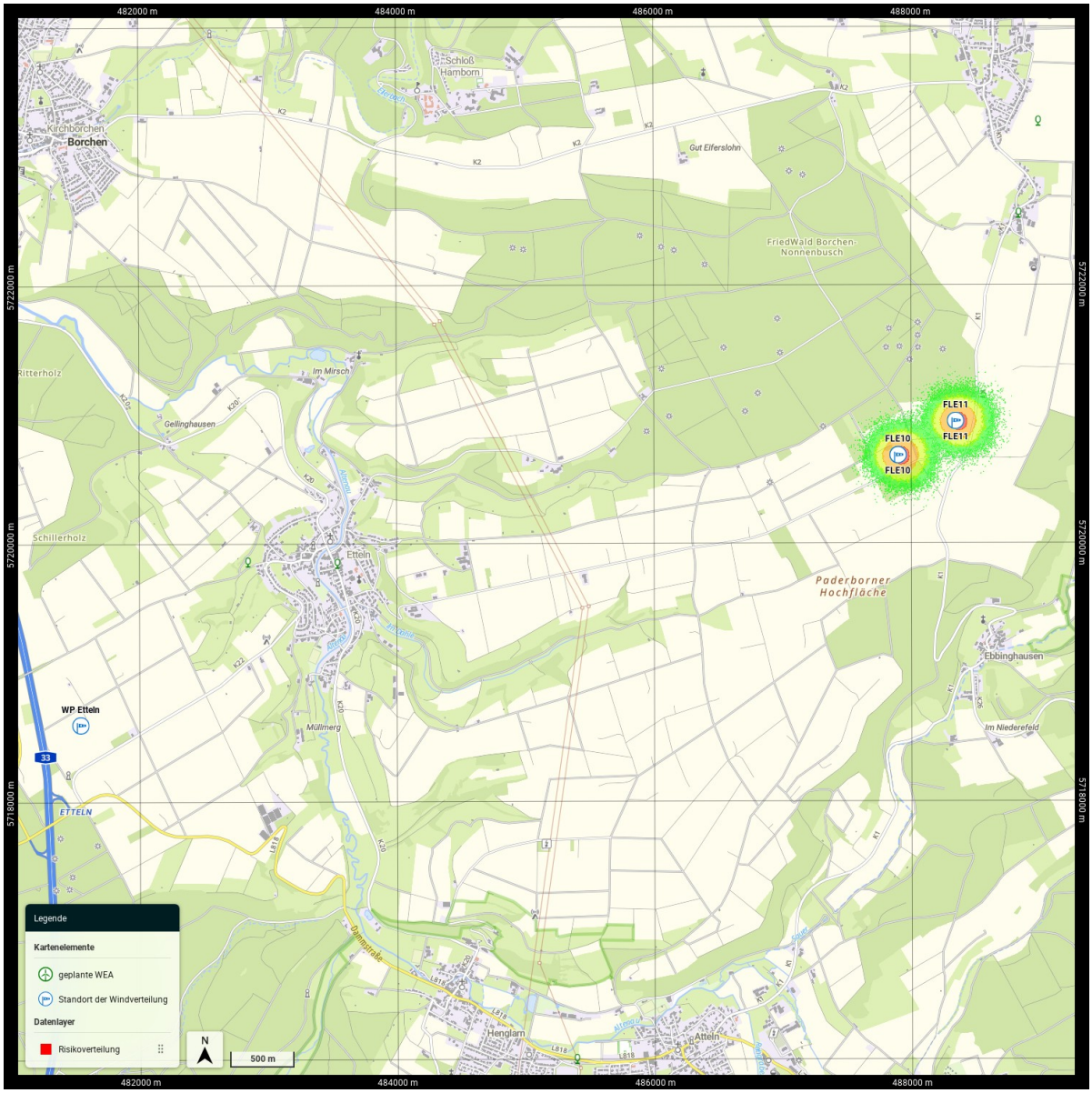


Abbildung 6.1: Darstellung der Treffer aus der mathematischen Simulation. [Bun]

6.3 Detailanalyse Schutzobjekte

6.3.1 Detailanalyse Wirtschaftsweg (SOL-01)

Im folgenden Abschnitt wird das Schutzobjekt SOL-01 im Detail untersucht. Bei diesem Objekt handelt es sich um einen Wirtschaftsweg mit einer Breite von 6,0 m. Hierbei kann

von individuellen Risiko ausgegangen werden, da auf der Straße Fußgänger zu erwarten sind und diese als kritisches Individuum angesehen werden. Die nachstehende Tabelle enthält sämtliche Informationen über das Verkehrs- und Personenaufkommen, die in den folgenden Risikobewertungen für die Verkehrswege einbezogen werden. Angaben zur Frequentierung sind für Schutzobjekte, die nicht im standortspezifisch festgelegten Gefährdungsbereich der WEA liegen, nicht erforderlich. Ein kritisches Individuum wird wie in 4.4.4 beschrieben für Schutzobjekte bestimmt, für die das individuelle Risiko von entscheidender Bedeutung ist. Dieses wird in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 6.3: Aufenthaltshäufigkeit SOL-01

Verkehrswege	Verkehrsaufkommen			Personenaufkommen		
	Kollektiv-frequenz [Kfz/d]	Geschwindigkeit [km/h]	Individual-frequenz Verkehr [Personen/d]	Fußgänger am Tag [Fußgänger/d]	Radfahrer am Tag [Radfahrer/d]	kritisches Individuum
Wirtschaftsweg	50	50,0	75	2	2	Fußgänger

In der Simulation wurde das Schutzobjekt SOL-01 als Polygon angenommen und die Wahrscheinlichkeit des Aufenthaltes über die Breite als Konstant vorausgesetzt.
Das Produkt aus den erwarteten Treffern und den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Schutzobjektes ergibt die folgenden Risikoabschätzungen:

Tabelle 6.4: Risikobewertung SOL-01

WEA ID	Kollektive Risikoabschätzung	Kollektive Risikobewertung	Individuelle Risikoabschätzung	Individuelle Risikobewertung	Maßnahmen notwendig?	Maßnahmen empfohlen?
FLE10	$2,1 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 478 Tsd. Jahren)	akzeptabler Bereich	$5,6 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1 Mio. Jahren)	unterer Bereich	Nein	Ja
FLE11	$2,1 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 469 Mio. Jahren)	akzeptabler Bereich	$5,7 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1 Mrd. Jahren)	akzeptabler Bereich	Nein	Nein

Für die FLE10 kann das Risiko durch die Umsetzung risikomindernder Maßnahmen reduziert werden. Es werden entsprechende Maßnahmen gemäß Tabelle 3.2 empfohlen, wie beispielsweise das Aufstellen von Hinweisschildern.

6.3.2 Detailanalyse Kreisstraße K1 (SOL-02)

Im folgenden Abschnitt wird das Schutzobjekt SOL-02 im Detail untersucht. Bei diesem Objekt handelt es sich um eine Kreisstraße K1 mit einer Breite von 6,0 m. Hierbei wird davon ausgegangen, dass auf der Straße Fußgänger zu erwarten sind und als kritisches Individuum angesehen werden können. Die nachstehende Tabelle enthält sämtliche Informationen über das Verkehrs- und Personenaufkommen, die in den folgenden Risikobewertungen für die Verkehrswege einbezogen werden. Angaben zur Frequentierung sind für Schutzobjekte, die nicht im standortspezifisch festgelegten Gefährdungsbereich der WEA liegen, nicht erforderlich. Ein kritisches Individuum wird wie in 4.4.4 beschrieben für Schutzobjekte bestimmt, für die das individuelle Risiko von entscheidender Bedeutung ist. Dieses wird in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 6.5: Aufenthaltshäufigkeit SOL-02

Verkehrswege	Verkehrsaufkommen			Personenaufkommen		
	Kollektiv-frequenz [Kfz/d]	Geschwindigkeit [km/h]	Individual-frequenz Verkehr [Personen/d]	Fußgänger am Tag [Fußgänger/d]	Radfahrer am Tag [Radfahrer/d]	kritisches Individuum
Kreisstraße K1	500	50,0	750	2	2	Fußgänger

In der Simulation wurde das Schutzobjekt SOL-02 als Polygon angenommen und die Wahrscheinlichkeit des Aufenthaltes über die Breite als Konstant vorausgesetzt.
Das Produkt aus den erwarteten Treffern und den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Schutzobjektes ergibt die folgenden Risikoabschätzungen:

Tabelle 6.6: Risikobewertung SOL-02

WEA ID	Kollektive Risikoabschätzung	Kollektive Risikobewertung	Individuelle Risikoabschätzung	Individuelle Risikobewertung	Maßnahmen notwendig?	Maßnahmen empfohlen?
FLE10	$9,9 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1 Mrd. Jahren)	akzeptabler Bereich	$2,7 \cdot 10^{-11}$ (einmal in 37 Mrd. Jahren)	akzeptabler Bereich	Nein	Nein
FLE11	$7,5 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 134 Tsd. Jahren)	akzeptabler Bereich	$2,0 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 5 Mio. Jahren)	unterer Bereich	Nein	Ja

Für die FLE11 kann das Risiko durch die Umsetzung risikomindernder Maßnahmen reduziert werden. Es werden entsprechende Maßnahmen gemäß Tabelle 3.2 empfohlen, wie beispielsweise das Aufstellen von Hinweisschildern.

6.4 Zusammenfassende Risikobewertung

In der folgenden Tabelle ist die Bewertung der Gefährdung der Schutzobjekte dargestellt.

Tabelle 6.7: Bewertung der Gefährdung für individuelles und kollektives Risiko. Das jeweils größere Risiko ist zu betrachten.

SO	WEA ID	Kollektives Risiko	Kollektive Risikoeinschätzung	Individuelles Risiko	Individuelle Risikoeinschätzung
SOL-01	FLE10	akzeptabler Bereich	$2,1 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 478 Tsd. Jahren)	unterer Bereich	$5,6 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1 Mio. Jahren)
SOL-01	FLE11	akzeptabler Bereich	$2,1 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 469 Mio. Jahren)	akzeptabler Bereich	$5,7 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1 Mrd. Jahren)
SOL-02	FLE10	akzeptabler Bereich	$9,9 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1 Mrd. Jahren)	akzeptabler Bereich	$2,7 \cdot 10^{-11}$ (einmal in 37 Mrd. Jahren)
SOL-02	FLE11	akzeptabler Bereich	$7,5 \cdot 10^{-6}$ (einmal in 134 Tsd. Jahren)	unterer Bereich	$2,0 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 5 Mio. Jahren)

7 Gültigkeit der Ergebnisse

Bei der Einschätzung des Risikos durch Eiswurf/Eisfall von WEA gibt es zahlreiche Unsicherheiten. Bei einer vereinfachten Risikobewertung wird häufig ein Durchschnittsrisikowert angegeben, doch aufgrund vieler Einflussfaktoren ist es nicht möglich, das tatsächliche Risiko genau zu bestimmen. Zu diesen Faktoren gehören die Anzahl der Tage, in denen es zu einer Vereisung kommt, die Masse der Eisfragmente, die betroffene Fläche, die Anzahl der Personen, die in Gefahr sind, und die vermuteten Konsequenzen.

Aus den Unsicherheiten der verschiedenen Faktoren resultiert in der Risikoanalyse eine Gesamtunsicherheit. Es gibt keine allgemeingültigen Ratschläge, da die Unsicherheitswerte bzw. Sicherheitsmargen je nach individueller Situation variieren. Das Verständnis von Eiswurf und Eisfall wächst, während die Grundlage für Risikoanalysen durch kontinuierliche Überprüfungen grundlegender Annahmen gestärkt wird. Experten stimmen jedoch darin überein, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um ein besseres Verständnis für die Unsicherheiten zu erlangen und sie zu bewältigen.

Es ist von Bedeutung, einen Unterschied zwischen Einflussfaktoren auf die Landepositionen von Eisfragmenten und solchen, die unmittelbar das Risikoniveau bestimmen zu machen. Ein konservativer Ansatz bei der Auswahl von Werten für die erstgenannte Gruppe führt nicht immer zu einem Ergebnis mit geringerem Risiko. Die Wahl realistischer Werte und die Kalibrierung des Modells mit Feldbeobachtungen können die Unsicherheit reduzieren.

Da keine endgültigen Empfehlungen für die Behandlung von Unsicherheitsfaktoren gegeben werden können, muss der für die Behandlung von Unsicherheiten verwendete Ansatz in der Bewertung klar begründet und beschrieben werden.

8 Interaktive Karte



Die interaktive Karte dient der Darstellung einiger bedeutender Ergebnisse des Berichtes. Hierbei werden alle zu betrachtenden WEA und die jeweils relevanten Schutzobjekte dargestellt. Die Treffer werden als Heatmap dargestellt, wobei die verschiedenen Farben die in Tabelle 4.1 beschriebenen Risiken repräsentieren. Für die Berechnung der Risiken wurde jedes Rasterfeld als Schutzobjekt angenommen, wobei angenommen wird, dass sich eine Person jeweils 0,5 Stunden pro Tag in einem Rasterfeld aufhält.
Das Öffnen der interaktiven Karte ist nur im Adobe Acrobat Reader möglich.

Literaturverzeichnis

[B. 00] B. Tammelin; A. Böhringer; M. Cavaliere; H. Holttinen; C. Morgan; H. Seifert; K. Säntti; P. Volund: *Wind energy production in cold climate*. 2000

[Ber17] Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: *Fahrleistungserhebung 2014 - Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko*. August 2017

[Bun] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: *GeoBasis-DE / BKG (2024) dl-de/by-2-0*

[Deu00] Deutsches Institut für Normung: *Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) - DIN EN 50126*. März 2000

[DWD18] DWD Climate Data Center (CDC): *Vieljähriges Mittel der Raster der Anzahl der Eistage für Deutschland, Version v1.0*. Dezember 2018

[heu18] heute im bundestag: *Verkehr und digitale Infrastruktur*. März 2018

[IEA22] IEA Wind TCP Task 19: International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments / International Energy Agency. 2022. – Technical Report

[J. 18] J. Schneider; H. P. Schlatter: *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure*. Mai 2018

[Las00] Lasse Makkonen: Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structures. 2000. – Forschungsbericht

[R. 08] R. Cattin, Meteotest: *ALPINE TEST SITE GUETSCH*. Dezember 2008

[S. 11] S. Biswas, P. Taylor and J. Salmon: *A model of ice throw trajectories from wind turbines*. November 2011

A Abkürzungsübersicht

Tabelle A.1: Abkürzungsübersicht

Abkürzung	Bedeutung
ALARP	As Low As Reasonable Practicable
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DIN	Deutsches Institut für Normen
EPSG	European Petroleum Survey Group
EES	Eiserkennungssystem
FEH	Fundamenterhöhung
GW	Gierwinkel
MEM	Minimale endogene Mortalität
NH	Nabenhöhe
RD	Rotordurchmesser
RRF	Risikominderungsfaktor
SO	Schutzobjekte
UTM	globales Koordinatensystem
WEA	Windenergieanlage
WP	Windpark

B Formelzeichenübersicht

Tabelle B.1: Formelzeichenübersicht

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
A	Skalenparameter der Weibullverteilung	m/s
C_D	Luftwiderstandsbeiwert	-
g	Erdbeschleunigung	m/s^2
k	Formfaktor der Weibullverteilung	-
m	Masse des Eisfragments	kg
r	Ablöse-Radius	m
u_*	Schubspannungsgeschwindigkeit	m/s
z_0	Rauhigkeitslänge	m
β_{ave}	standortspezifischer Mittelwert der Schräganströmung	°
ω	Winkelgeschwindigkeit des Rotors	m/s
ρ	Luftdichte	kg/m^3
θ	Ablöse-Winkel	°

C Absolute Abstandstabelle

Im Folgenden werden die absoluten Abstände zwischen den zu betrachtenden WEA und den Schutzobjekten dargestellt. Der minimale Abstand am Standort beträgt 90 m und ist zwischen FLE10 und SOL-01.

Tabelle C.1: Abstandstabelle

	Horizontaler Abstand [m]	
ID	**FLE10**	**FLE11**
SOL-01	90	267
SOL-02	433	138

D Relative Abstandstabelle

Im Folgenden werden die relativen Abstände zwischen den zu betrachtenden WEA und den Schutzobjekten dargestellt. Die relativen Abstände werden wie folgt berechnet:

$$\text{relative Abstände} = \frac{\text{Abstand der WEA zum SO}}{1{,}5 \cdot (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})}$$

Der minimale Abstand am Standort beträgt 0 und ist zwischen FLE10 und SOL-01.

Tabelle D.1: Abstandstabelle

	Horizontaler Abstand	
ID	**FLE10**	**FLE11**
SOL-01	0	1
SOL-02	1	0

E Dokumentenbeschreibung

Berichtsnummer:	NE-26-133478-23248-IC
Datum:	04.05.2026
Revisionsnummer:	Rev. 0
Bearbeiter:	Anton Holtkamp, B.Sc.
Projektleitung:	André Raming, M.Eng.

Dieser Bericht endet hier. Weitere Seiten sind ohne Kennzeichnung des Prüflabors ungültig.