

Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen am Windenergieanlagen-Standort Banzkow

Erstellt im Auftrag für

NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG
Potsdam

Revision 0

Hamburg, 04.08.2023

Revision	Datum	Änderung
0	04.08.2023	Erste Ausgabe

Gegenstand: Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung
Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen
am Windenergieanlagen-Standort Banzkow

Referenz-Nr.: 2023-WND-RB-336-R0

Auftraggeberin: NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG
Parkstraße 1
14469 Potsdam

Anlagenherstellerin: Vestas WindSystems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N, Dänemark

WEA-Typ:	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
Vestas V162	7,2	162,0	169,0

Eingereichte Unterlagen:

- WEA-Spezifikationen: Nennleistung, Drehzahlbereich, Rotordurchmesser und Nabenhöhe /1/.
- Lageplan mit Darstellung der WEA und der Schutzobjekte /2/.
- Weibull-Parameter A und k sowie die Windrichtungsverteilung auf Nabenhöhe /3/.
- Angaben und Nachweise zu dem Eiserkennungssystem der WEA /4/.
- Beschreibung der Schutzobjekte und des WEA-Standorts sowie Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten am Standort /5/.
- Daten der Gasleitung /6/.
- Angaben zur Bodenbeschaffenheit /7/.

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 04.08.2023
Geprüft durch	Dipl.-Ing. O. Raupach Sachverständiger	Hamburg, 04.08.2023

Für weitere Auskünfte:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
M.Sc. N. Cromm
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 1754
Fax: +49 40 8557 2552
E-Mail: ncromm@tuev-nord.de

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	7
2	Angaben zum Windenergieanlagen-Standort.....	9
3	Risikoanalyse.....	10
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i>	<i>10</i>
3.1.1	Vereisungspotential.....	11
3.1.2	Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf).....	12
3.1.3	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs	13
3.1.4	Gefährdungsradius Eisabwurf	14
3.2	<i>Detailanalyse Gefährdung durch Eisabfall.....</i>	<i>15</i>
3.2.1	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	15
3.2.2	Trefferhäufigkeiten	16
3.2.3	Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30	19
3.2.4	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) auf der Kreisstraße K30	20
3.3	<i>Rotorblattbruch.....</i>	<i>21</i>
3.3.1	Generische Ereignishäufigkeiten	21
3.3.2	Randbedingungen für die Untersuchungen des Rotorblattbruchs.....	21
3.3.3	Trefferhäufigkeiten	22
3.3.4	Gefährdung der Ferngasleitung.....	25
3.3.5	Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30	25
3.3.6	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) auf der Kreisstraße K30	26
3.4	<i>Turmversagen</i>	<i>27</i>
3.4.1	Generische Ereignishäufigkeiten	27
3.4.2	Gefährdungsbereiche	28
3.4.3	Gefährdung der Ferngasleitung.....	29
3.4.4	Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30	30
3.4.5	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) auf der Kreisstraße K30	31
4	Bewertungsmaßstab Ferngasleitung	32
5	Bewertungsmaßstab Straßenverkehr.....	32
5.1	<i>Individualrisiko.....</i>	<i>33</i>
5.2	<i>Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko).....</i>	<i>34</i>
6	Modell- und Datenunsicherheiten	35

7	Zusammenfassung und Risikobewertung	35
7.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i>	<i>36</i>
7.2	<i>Rotorblattbruch und Turmversagen</i>	<i>37</i>
7.3	<i>Maßnahmen zur Minderung des Risikos durch Eisabfall</i>	<i>39</i>
7.4	<i>Maßnahmen zur Minderung des Risikos durch Rotorblattbruch und Turmversagen</i>	<i>40</i>
7.5	<i>Risikobewertung</i>	<i>41</i>
8	Rechtsbelehrung	43
9	Formelzeichen und Abkürzungen	44
10	Literatur- und Quellenangaben	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /2/.....	9
Abbildung 2:	Gefährdungsradius Eisabwurf - rot gestrichelt ($v = 18,8 \text{ m/s}$).....	15
Abbildung 3:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	17
Abbildung 4:	Wahrscheinlichkeitszonen [$1/\text{m}^2$] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	18
Abbildung 5:	Auftreffpunkte bei Rotorblattbruch. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.....	22
Abbildung 6:	Trefferhäufigkeiten [$1/\text{m}^2$] bei Rotorblattbruch. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.	24
Abbildung 7:	Gefährdungsbereich der Kreisstraße K30 (rot) bei Turmversagen (schwarzer Balken). Gefährdungsradien (rot gestrichelt): innen – Gondel, außen – Gesamthöhe.....	28
Abbildung 8:	Gefährdungsbereich (hellrot) der Ferngasleitung bei Turmversagen (schwarzer Balken). Gefährdungsradien (rot gestrichelt): innen – Gondel, außen – Gesamthöhe.	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.	12
Tabelle 2:	Idealisierte Eisobjekte.....	14
Tabelle 3:	Ermittelte maximale Wurfweiten.....	14
Tabelle 4:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 5.....	18
Tabelle 5:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Rotorblattbruch). *alles außerhalb der Zone 4.....	23
Tabelle 6:	Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Eisabfall von der WEA 08.	37
Tabelle 7:	Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K30 durch Eisabfall von der WEA 08.	37
Tabelle 8:	Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Rotorblattbruch und Turmversagen der WEA 08.	38
Tabelle 9:	Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K30 durch Rotorblattbruch und Turmversagen der WEA 08.	38
Tabelle 10:	Gefährdung der Ferngasleitung durch Rotorblattbruch und Turmversagen der WEA 08.	38
Tabelle 11:	Gefährdung des Straßenverkehrs durch Eisabfall mit und ohne Parkposition.....	39

1 Aufgabenstellung

Am Standort Banzkow in Mecklenburg-Vorpommern plant die NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG die Errichtung von acht Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V162 mit 169,0 m Nabenhöhe (NH) und 162,0 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Autobahn A14, die Kreisstraße K30 sowie eine Ferngasleitung.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /26/ §5 Abs. 1 Nr. 1 sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Eisobjekte sowie Trümmerteile (Rotorblattbruch und Turmversagen) sind im Sinne des BImSchG als „sonstige Gefahr“ zu betrachten (siehe auch /27/), der Einfluss auf das Schutzniveau der Umwelt ist für den jeweiligen Standort zu bewerten (standortbezogene Risikobeurteilung).

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass die öffentliche Sicherheit nicht durch die geplanten WEA beeinträchtigt wird. In der durch das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern eingeführten Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen / /24/ werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /24/ gelten Abstände größer als $1,5 \times (D + NH)$ im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. Soweit diese Abstände nicht eingehalten werden, ist eine gutachtliche Stellungnahme einer Sachverständigen oder eines Sachverständigen erforderlich.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD) ist von der NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit Schreiben vom 27.06.2023 mit der Erstellung einer Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen beauftragt worden. Die folgende Vorgehensweise ist Gegenstand der Beauftragung:

Erstellung einer gutachtlichen Stellungnahme zur möglichen Gefährdung von Personen auf dem Gelände der Autobahnraststätte und dem nahegelegenen Gewerbegebiet, zur möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14, der Kreisstraße K30 („Hamburger Frachtweg“) sowie den umliegenden Wirtschaftswegen und zur möglichen Gefährdung der nahegelegenen Ferngasleitung durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen der geplanten WEA. Die Stellungnahme beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

1. Darstellung des geplanten Projekts mit Angaben zu den Eigenschaften der geplanten WEA und dem Standort.
2. Ermittlung und Darstellung von Kenngrößen zur Risikobewertung.
3. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.
4. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte, Rotorblattbruch und Turmversagen bei den WEA des Typs Vestas V162 am WEA-

Standort Banzkow in Abhängigkeit der Ergebnisse der Risikobewertung. Dies umfasst eine Einordnung der Ergebnisse sowie die Nennung umgesetzter und/oder möglicher weiterer Maßnahmen zur Risikominderung.

Eine weitere Analyse des möglichen Schadensverlaufs durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen (z.B. Gebäudeschäden, Fahrzeugschäden, Umweltschäden, Ausbreitungsrechnungen für Gefahrstoffe, Schadensbeurteilung) erfolgt nicht im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme. Die Risikobeurteilung erfolgt auf Grundlage der eingereichten Unterlagen. Es wird ausschließlich die Gefährdung der zuvor genannten Schutzgüter durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen durch die neu geplanten WEA beurteilt. Mögliche weitere Schutzobjekte in der Umgebung der geplanten WEA sowie die Beurteilung weiterer Gefährdungen sind nicht Bestandteil der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme. Für die WEA-Spezifikationen der geplanten WEA wurden die benannten Spezifikationen berücksichtigt (siehe Seite 2).

Die in dieser Stellungnahme verwendeten Randbedingungen und Rechnungen zum Eisabwurf und Eisabfall basieren auf den aktuellen internationalen Empfehlungen für Risikobeurteilungen von Eisabwurf und Eisabfall von WEA /45/.

2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs Vestas V162 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen.



Abbildung 1: Lageplan /2/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA am Standort Banzkow ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Westlich der geplanten WEA befinden sich die Autobahn A14 (siehe Abbildung 1, rote Linie) und der Rastplatz „Plater Berg Ost“ (siehe Abbildung 1, blaue Fläche). Südlich der geplanten WEA verläuft die Kreisstraße K30 (siehe Abbildung 1, orangene Linie). Der kürzeste Abstand der WEA 08 (WEA-Mittelpunkt) zur Kreisstraße K30 beträgt ca. 100 m.

Darüber hinaus befinden sich am geplanten Standort ein Gewerbegebiet (siehe Abbildung 1, grün umrandete Fläche) sowie eine Ferngasleitung der GASCADE Gastransport GmbH (siehe Abbildung 1, rot gestrichelte Linie). Die Ferngasleitung hat einen Außendurchmesser von ca. 1,4 m (DN 1400) und wird mit einem Druck von 100 bar betrieben /6/. Am geplanten Standort verläuft sie ca. 1,2 bis 1,5 m unter dem Erdboden /6/.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /2/ und der Standortbeschreibung /5/ entnommen.

3 Risikoanalyse

3.1 Eisabwurf und Eisabfall

Eisstücke oder Eiszapfen, die aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit herabgeschleudert werden oder herunterfallen, können für Personen oder Verkehrsteilnehmer:innen im Trefferbereich eine ernste Gefahr darstellen. Durch Eisbildung an Gebäuden sind in Gebieten mit starker Eisbildung bereits Personen durch herabfallende Eisstücke zu Schaden gekommen.

Geschlossene Fahrzeuge bieten Schutz, könnten aber beschädigt werden. Bei Fahrzeugen in Bewegung könnten im Falle eines Treffers reflexartige Reaktionen der Fahrerin oder des Fahrers zu Unfällen führen. So stellen beispielsweise herabfallende Eisplatten von LKW mit Planenaufbau für Verkehrsteilnehmer:innen eine nicht zu vernachlässigende Gefahr dar. Unfälle durch herabfallende Eisplatten von LKW mit Personen- und Sachschäden werden im Winter regelmäßig gemeldet. Das Schadenspotential durch Eisabwurf oder Eisabfall von WEA ist vergleichbar mit dem von Eisplatten, welche sich von LKW mit Planenaufbau lösen können.

Grundlegend muss bei der Bewertung von vereisten WEA zwischen den Gefährdungen durch Eisabwurf und Eisabfall unterschieden werden. Der Eisabwurf ist das Abwerfen eines Eisobjektes während des Betriebes der WEA, das Eisobjekt wird durch die drehende Rotorbewegung beschleunigt. Der Eisabfall ist das Abfallen eines Eisobjektes bei abgeschalteter WEA (Trudelbetrieb), hierbei wird das Eisobjekt im Fallen durch den Wind abgetrieben. Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern einer WEA ist zunächst zu prüfen, ob die WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügt. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Drehung des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden.

3.1.1 Vereisungspotential

Die Vereisung durch Eisregen oder Raueis hängt von den meteorologischen Verhältnissen wie Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit ab. Diese Parameter werden z. B. durch die Topografie des zu beurteilenden Standortes beeinflusst. Wesentlich sind außerdem die Eigenschaften der Bauteile wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemein gültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden. Vereisung bildet sich jedoch bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, auch in Küstennähe und an Flussläufen /20/, /21/, /22/.

Aufgrund des Tragflächenprinzips von WEA-Rotorblättern sinkt der Luftdruck infolge der Beschleunigung der Luft an der Hinterseite der Rotorblätter (Bernoulli-Effekt). Durch den plötzlichen Druckabfall kommt es zu einer Verringerung der Lufttemperatur. Dieser Effekt kann die Vereisung der Rotorblätter bei bestimmten Wetterlagen verstärken. Während Eisablagerungen bei entsprechender Schichtstärke zu einer Gefährdung führen können, stellen Reif- und Schneeablagerungen für die Umgebung keine Gefahr dar. Eisabfall von Rotorblättern tritt nach jeder Vereisungswetterlage mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich dann nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie z.B. Brücken oder Strommasten.

Für den Standort Banzkow ist gemäß den Eiskarten Europas /12/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /14/, /15/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /13/ im Mittel mit ca. zehn möglichen Vereisungstagen pro Jahr zu rechnen.

Zusätzlich zur jährlichen Vereisungsperiode (Anzahl der Vereisungsereignisse) ist die Anzahl der Eisabfallereignisse je Vereisung abzuschätzen. Im Rahmen des Schweizer Forschungsprojekts „Alpine Test Site Gütsch“ /17/, /18/, /19/ wurden unter anderem beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte einer WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m statistisch erfasst. So wurden in vier Jahren mind. 250 Eisobjekte beobachtet /19/. Unter Berücksichtigung der in /18/ ausgewiesenen Häufigkeit der Vereisung für den Standort Gütsch mit 10 bis 30 Tagen pro Jahr lässt sich somit die Anzahl von Eisfragmenten pro Vereisung zu

$$\frac{250 \text{ Eisobjekte}}{4 \text{ Jahre} \cdot 10 \text{ Vereisungen / Jahr}} \approx 7 \text{ Eisobjekte / Vereisung}$$

abschätzen. Da davon auszugehen ist, dass ein erheblicher Anteil der Eisobjekte nicht erfasst wurde, setzt TÜV NORD für die Anzahl der Eisabwurf- bzw. Eisabfallereignisse, unter Berücksichtigung einer geschätzten Dunkelziffer von 100%, einen Wert von 14 Eisobjekten pro Vereisung an.

Da die Studie „Alpine Test Site Gütsch“ für eine WEA mit einem Rotordurchmesser von 44,0 m durchgeführt wurde, sind die Beobachtungen auf andere WEA zu übertra-

gen, wobei eine Zunahme der Anzahl an Eisobjekten je Vereisung relativ zu D^2 angenommen wird /45/. In Tabelle 1 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D^2 [m ²]	Verhältnis	Eisobjekte/ Vereisung
ENERCON E-40/6.44	44,0	1.936	1,0	ca. 14
Vestas V162	162,0	26.244	13,6	ca. 191

Tabelle 1: Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung.

3.1.2 Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)

Zur Ermittlung des möglichen Gefährdungsbereichs durch Eisabwurf bzw. Eisabfall von Rotorblättern der WEA ist zunächst zu prüfen, ob die geplanten WEA über eine automatische Abschaltung bei Eisansatz verfügen. Bei WEA, die über eine wirksame Eisabschaltung verfügen, sind lediglich der Eisabfall von den abgeschalteten WEA und die seitliche Ablenkung durch den Wind zu berücksichtigen. Bei WEA ohne eine wirksame Eisabschaltung kommt es infolge der Rotation des Rotors zum Wegschleudern des Eises (Eisabwurf), wodurch erheblich größere Wurfweiten erzielt werden. Sofern erforderliche Abstände zu den relevanten Schutzobjekten in Bezug auf eine mögliche Gefahr durch Eisabwurf nicht eingehalten werden (siehe Kapitel 1), ist die Funktionssicherheit der Eiserkennung mit einer gutachterlichen Stellungnahme einer oder eines Sachverständigen nachzuweisen /24/.

Im Rahmen der Risikobewertung soll beurteilt werden, welche der geplanten WEA mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem auszurüsten sind, um eine unzulässige Gefährdung durch Eisabwurf zu verhindern /4/.

Für die Bewertung, welche WEA mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem zur Verhinderung des Eisabwurfs ausgerüstet werden sollten, wird im Folgenden zuerst die Gefährdung durch Eisabwurf von den WEA im Betrieb ermittelt und auf dieser Basis eine Entscheidung über die Ausstattung der WEA mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem getroffen (Kapitel 3.1.4). Anschließend wird die Gefahr durch Eisabfall von den abgeschalteten (trudelnden) WEA betrachtet (Kapitel 3.2). Die Ergebnisse werden in Kapitel 7 entsprechend bewertet.

3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabwurfs

Für die Berechnungen der maximalen Wurfweiten werden die folgenden Rahmenbedingungen angenommen:

- WEA-Typ: Vestas V162 mit 169,0 m NH und 162,0 m D.
- Drehzahl: Die Drehzahl entspricht der maximalen Betriebsdrehzahl von 9,6 U/min.
- Lageparameter des Rotorblattes: Die Stellung des Rotorblattes wird zur Ermittlung der maximalen Eisabwurfweite in der Rotationsebene der Rotorblätter schrittweise variiert.
- Lageparameter des Eisobjekts: Das Eisobjekt befindet sich an der Rotorblattspitze.
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe.
- Windrichtung: Der Wind kommt aus beliebiger Richtung und weht in horizontaler Richtung orthogonal zur Rotorebene. Eine entsprechende Stellung der WEA ist durch die automatische Windnachführung gegeben.
- Windgeschwindigkeit: Für die Windgeschwindigkeit wird das 99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung auf Nabenhöhe ermittelt. Diese Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe ist hinreichend konservativ gewählt, da sie zu 99,9% nicht überschritten wird und zudem für den gesamten Fallweg angesetzt wird.
- Physikalische Parameter: Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Luftdichte $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$ (konservativ aufgerundet bei 0°C Lufttemperatur).

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. Die Daten werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

Über die anzusetzende Form und Größe der Eisobjekte gibt es nur wenige belastbare Angaben. Die zur Verfügung stehenden Angaben deuten darauf hin, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2,0 kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen /11/, /12/, /17/. Zudem hat sich in Feldstudien /17/ gezeigt, dass das Gewicht der Eisobjekte für die Fallweite von geringer Relevanz ist. Die Flugeigenschaften werden im Wesentlichen von der Geometrie und dem c_w -Wert (Strömungswiderstandskoeffizient) beeinflusst.

Um den Einfluss von unterschiedlichen Eisobjekten zu berücksichtigen, werden für die Berechnungen idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe angesetzt. Die Gewichte der Eisobjekte werden unter Berücksichtigung der Kenntnisse aus /17/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m ³]	Form	mittlere Fläche [m ²]	mittlerer c _w -Wert [-]
1	1,0	700	Würfel	0,013	1,11
2	1,0	700	Quader	0,015	1,14
3	1,0	700	Quader	0,019	1,17
4	1,0	700	Platte	0,026	1,23
5	1,0	700	Platte	0,035	1,31

Tabelle 2: Idealisierte Eisobjekte.

3.1.4 Gefährdungsradius Eisabwurf

Für die geplanten WEA mit einer Gesamthöhe von ca. 250 m über Grund wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 18,8 m/s (99,9%-Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung /3/) auf Basis der in Tabelle 2 angegebenen Eisobjekte die maximale Wurfweite ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 dargestellt.

v [m/s]	1 Würfel [m]	2 Quader [m]	3 Quader [m]	4 Platte [m]	5 Platte [m]
18,8	290,6	274,3	266,2	285,2	313,1

Tabelle 3: Ermittelte maximale Wurfweiten.

Die ermittelte maximale Wurfweite ist der Tabelle 3 (Eisobjekt Nr. 5) zu entnehmen und in der nachfolgenden Abbildung 2 als Gefährdungsradius (rot gestrichelt) um die geplanten WEA dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Abschnitte der Kreisstraße K30 durch den Gefährdungsradius der geplanten WEA 08 und Abschnitte des Gewerbegebiets durch den Gefährdungsradius der geplanten WEA 03 überdeckt werden. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass Teile der Gefährdungsradien Abschnitte der Wirtschaftswege überdecken.

Um eine Personengefährdung auf dem Gelände des Gewerbegebiets und eine Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Eisabwurf zu verhindern, sollten die WEA 03 und WEA 08 mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem ausgestattet werden. Die darüber hinaus bestehende Gefährdung durch Eisabfall wird im Folgenden im Rahmen einer Detailanalyse auf Basis einer Simulation des Eisabfalls durchgeführt (siehe Kapitel 3.2).

Für die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /5/, für die im Winter außerhalb der Bewirtschaftungsperiode von einer unregelmäßigen Nutzung ausgegangen werden kann, wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall innerhalb der ermittelten Gefährdungsradien qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 7).



Abbildung 2: Gefährdungsradius Eisabwurf - rot gestrichelt ($v = 18,8 \text{ m/s}$).

3.2 Detailanalyse Gefährdung durch Eisabfall

3.2.1 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

Die Berechnung der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgt ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /40/, /41/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden pro WEA 1.000.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V162 mit 169,0 m NH und 162,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,7 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet (Weibull-Parameter A und k).
- Physikalische Parameter: Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Luftdichte $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$ (konservativ aufgerundet bei 0°C Lufttemperatur).
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe gemäß Kapitel 3.1.3.
- Lageparameter des Eisobjekts:
Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /16/ ist eine Eisbildung am Ende des Rotorblattes ca. dreimal häufiger zu beobachten als am Ansatz des Rotorblattes.
- Lageparameter der Rotorblätter:
Der Rotor kann sich im abgeschalteten Modus frei bewegen (Trudeln orthogonal zur Windrichtung möglich). Die Position des Rotorblattes ist in der Rotationssebene zum Zeitpunkt des Eisabfalls im Intervall $(0^\circ, 360^\circ)$ gleichverteilt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

3.2.2 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 1.910 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (zehn Vereisungstage pro Jahr mit je 191 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 3 sind die Auftreffpunkte von 1.000.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen von der jeweiligen WEA dargestellt.



Abbildung 3: Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 4 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro Quadratmeter und Eisabfall-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche sowie der möglichen Treffer durch Eisabfall pro Jahr und Quadratmeter sind in der Tabelle 4 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m ²]	Trefferhäufigkeiten pro Jahr [1/(a m ²)]
1	Rot	größer 1,0E-04	größer 1,9E-01
2	Orange	1,0E-05 bis 1,0E-04	1,9E-02 bis 1,9E-01
3	Gelb	1,0E-06 bis 1,0E-05	1,9E-03 bis 1,9E-02
4	Farblos	1,0E-07 bis 1,0E-06	1,9E-04 bis 1,9E-03
5	Farblos	1,0E-08 bis 1,0E-07	1,9E-05 bis 1,9E-04
6*	Farblos	kleiner 1,0E-08	kleiner 1,9E-05

Tabelle 4: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall),
*alles außerhalb der Zone 5.

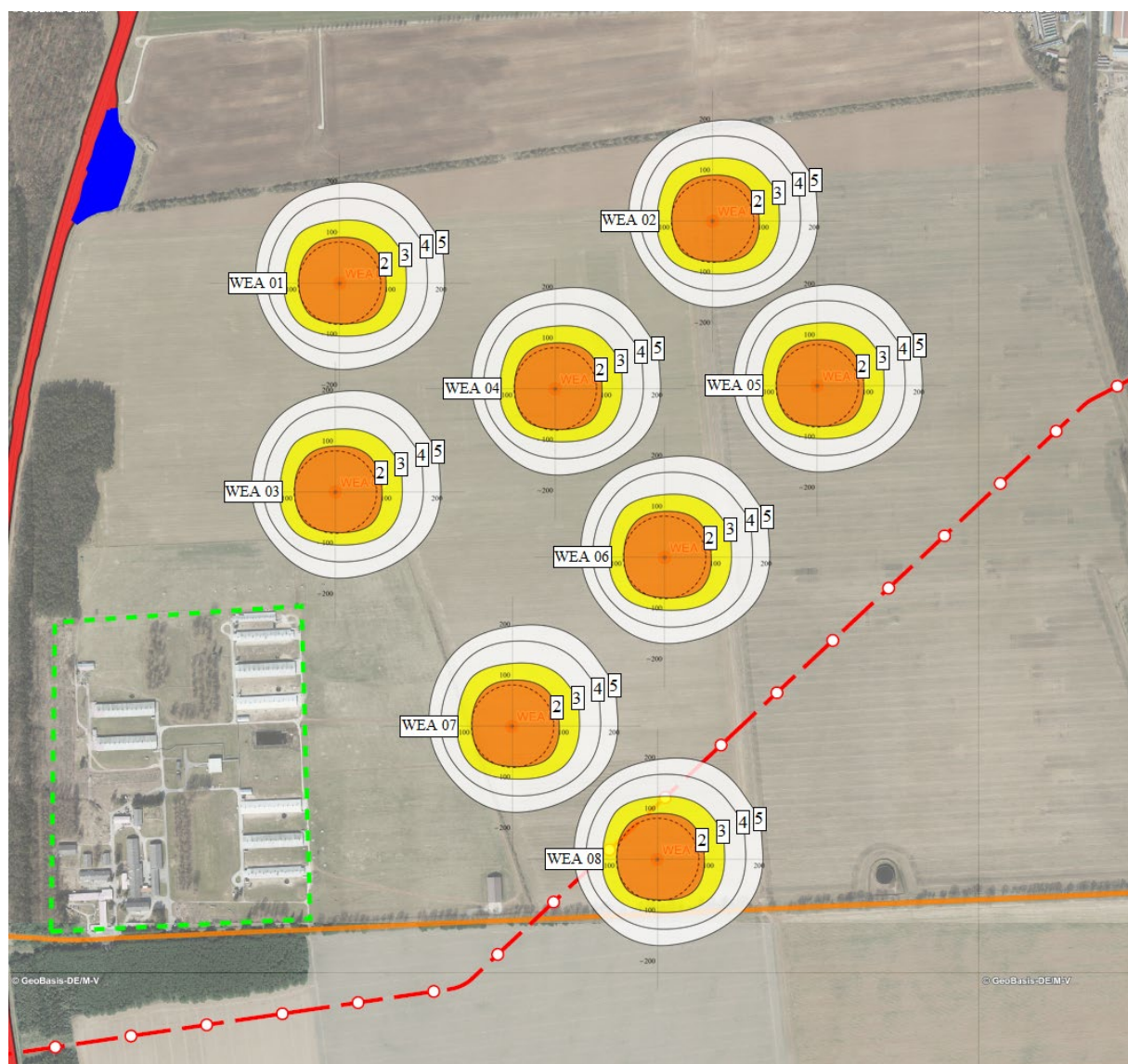


Abbildung 4: Wahrscheinlichkeitszonen [1/m²] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 4 zeigen, dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA 08 Abschnitte der Kreisstraße K30 überdecken (siehe weitere Risikoanalyse Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.2.4). Darüber hinaus ist zu erkennen, dass das Gewerbegebiet außerhalb des durch Eisabfall direkt gefährdeten Bereichs liegt. Eine direkte Gefährdung durch Eisabfall von der WEA 03 für Personen auf dem Gelände des Gewerbegebiets ist somit nicht zu unterstellen.

3.2.3 Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30

Auf Basis der in Abbildung 4 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund Eisabfalls von der geplanten WEA 08 zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Kreisstraße K30 konservativ eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich erhöht wird.

Ein Eisabfall ist dann als gefährlich einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Eisobjektes mit der Zeit und dem Ort des zu betrachtenden Fahrzeugs übereinstimmen.

Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{VJ} \cdot h_{EV} \cdot h_{TEj} \cdot A_T \cdot P_{VA} \cdot n_D \cdot P_{Aj} ,$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).

H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

h_{VJ} : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 3.1.1).

h_{EV} : Häufigkeit Eisabfall pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).

h_{TEj} : Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird konservativ als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2 m² angesetzt). Diese Annahme ist für die Ermittlung des Individualrisikos insofern konservativ, als dass davon ausgegangen werden kann, dass nicht jeder Treffer der Windschutzscheibe diese durchschlägt bzw. einen lebensbedrohlichen Unfall zur Folge hat.

P_{VA} : Wahrscheinlichkeit, an einem Vereisungstag anwesend zu sein, $P_{VA} = 225/365$ (Annahme: Berufspendler:in). Nutzung an 225 Tagen im Jahr pro Person, z.B. Berufspendler:in, welcher an 225 Tagen pro Jahr die Straße passiert.

n_D : Anzahl der täglichen Fahrten durch den Bereich j, $n_D = 2$ (Annahme: Berufspendler:in). Zwei Fahrten pro Tag, z.B. Berufspendler:in, welche:r die Straße zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).

P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der verkehrsteilnehmenden Person v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 4), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich eine Trefferhäufigkeit von $5,9E-07$ Treffern pro Jahr (Individualrisiko). Dies entspricht im Mittel einem schweren Unfall durch Eisabfall ca. alle 1,7 Mio. Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.2.4 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) auf der Kreisstraße K30

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.2.3), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K30 berücksichtigt. Daraus ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{VJ} \cdot h_{EV} \cdot h_{TEj} \cdot h_{aVT} \cdot A_T \cdot P_{Aj},$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).

H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

h_{VJ} : Häufigkeit der Vereisung pro Jahr (Kapitel 3.1.1).

h_{EV} : Häufigkeit eines Eisabfalls pro Vereisung (Kapitel 3.1.1).

h_{TEj} : Häufigkeit der Treffer pro m^2 im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

h_{aVT} : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K30 werden auf Basis der Angaben aus /9/ 3.570 Kfz pro Tag angesetzt.

A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit $2 m^2$ angesetzt).

P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der Fahrzeuge v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 4), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich eine Trefferhäufigkeit von $6,3E-06$ Treffern pro Jahr und Meter (Gefährdung des Straßenverkehrs). Dies entspricht im Mittel einem schweren Unfall durch Eisabfall ca. alle 158.730 Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.3 Rotorblattbruch

Unter Rotorblattbruch wird der Bruch des gesamten Rotorblattes ab Nabe oder Bruch an beliebiger Stelle zwischen Rotorblattnabe und Rotorblattspitze mit Ausnahme von Kleinteilen verstanden. Die Flugbahn eines Blattbruchstückes wird durch das Zusammenspiel der angreifenden Kräfte charakterisiert. Dies sind die Schwerkraft und die aus der Luftumströmung resultierenden Druckkräfte.

Trümmerobjekte durch Rotorblattbruch, die aus großer Höhe und mit entsprechend hoher Geschwindigkeit abgeworfen werden, stellen für Personen und Produktenfernleitungen im Trefferbereich eine Gefahr dar.

3.3.1 Generische Ereignishäufigkeiten

Es sind bereits mehrere Ereignisse bekannt, bei denen an WEA ein Rotorblattbruch beobachtet wurde. TÜV NORD geht nach Auswertung der verfügbaren Ereignis-Datenbanken /28/, /29/ von einer Schadenshäufigkeit von $5,0E-04$ pro WEA und Jahr aus. Diese Schadenshäufigkeit ergibt sich aus einer Auswertung der TÜV NORD bekannten Schadensereignisse in Deutschland /28/ unter Berücksichtigung einer geschätzten Anzahl von nicht bekannten Ereignissen in gleicher Größenordnung sowie einer Auswertung aus den Niederlanden /29/. Die Schadensereignisse werden auf die Betriebsdauer und die Anzahl an WEA bezogen, um die Eintrittswahrscheinlichkeit pro Jahr und WEA zu ermitteln. Die Angaben über die Anzahl der in Deutschland errichteten WEA können aus /30/ entnommen werden.

3.3.2 Randbedingungen für die Untersuchungen des Rotorblattbruchs

Die Berechnungen der Flugbahnen von Rotorblattbruchstücken erfolgen unter Variation der verschiedenen Parameter wie Bruchlage, Abwurfwinkel, Windrichtung und Windstärke /41/. Es werden somit 100.000 verschiedene Flugbahnen pro WEA simuliert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: Vestas V162 mit 169,0 m NH und 162,0 m D.
- Drehzahl bei Rotorblattbruch: $9,6 \text{ U/min} \cdot 120\% = 11,52 \text{ U/min}$ (Überdrehzahl).
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /3/ verwendet (Weibull-Parameter A und k).
- Der Rotorblattbruch wird vorausgesetzt. Es wird angenommen, dass dieser für Windgeschwindigkeiten in einem Bereich [15 m/s bis 30 m/s] erfolgt. Diese Annahme ist aufgrund der Ausdehnung des Trefferbereiches für Windgeschwindigkeiten kleiner 15 m/s als abdeckend zu betrachten.
- Es wurden diskrete Bruchpositionen angesetzt (alle 2 Meter), diese werden als gleichverteilt angenommen.

- Der Bruch wird als glatter Schnitt modelliert und verbraucht keine Energie.
- Trümmerbrüche, die ein Feld von kleineren Trümmerteilen erzeugen, werden nicht betrachtet.
- Die Abwurfposition (in Rotorblattebene) ist gleichverteilt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3/. Die Daten werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

3.3.3 Trefferhäufigkeiten

In Abbildung 5 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Rotorblattbruch-Ereignissen pro WEA dargestellt.



Abbildung 5: Auftreffpunkte bei Rotorblattbruch. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 6 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro m² und Rotorblattbruch-Ereignis in der Umgebung der WEA durch farblich abgestufte Gefährdungsbereiche dargestellt (Wahrscheinlichkeitszonen). Die Bedeutung der farblich abgestuften Gefährdungsbereiche sowie der möglichen Treffer durch Rotorblattbruch pro Jahr und m² sind in der Tabelle 5 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m ²]	Trefferhäufigkeiten [1/(a m ²)]
1	Rot	größer 1,0E-05	größer 5,0E-09
2	Orange	1,0E-06 bis 1,0E-05	5,0E-10 bis 5,0E-09
3	Gelb	1,0E-07 bis 1,0E-06	5,0E-11 bis 5,0E-10
4	Farblos	1,0E-08 bis 1,0E-07	5,0E-12 bis 5,0E-11
5*	Farblos	kleiner 1,0E-08	kleiner 5,0E-12

Tabelle 5: Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Rotorblattbruch).

*alles außerhalb der Zone 4.



Abbildung 6: Trefferhäufigkeiten [1/m²] bei Rotorblattbruch. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Rotorblattbruchs in Abbildung 6 zeigen, dass Abschnitte der Ferngasleitung sowie der Kreisstraße K30 durch Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche der WEA 08 überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse Kapitel 3.3.4 bis Kapitel 3.3.6). Darüber hinaus ist zu erkennen, dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche der WEA 03 den nordöstlichen Randbereich des Gewerbegebiets überdecken. Die Gefährdung von Personen innerhalb des betroffenen Bereichs und die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Wirtschaftswegen werden in Kapitel 7 qualitativ bewertet.

3.3.4 Gefährdung der Ferngasleitung

Im Rahmen vorrangegangener interner Schadensbeurteilungen zur Schädigung von Produktenfernleitungen durch Rotorblattbruchstücke wurde ermittelt, dass ein direkter Einschlag eines Trümmerteils oberhalb der Produktenfernleitung zu einem Schaden führen kann. Treffer neben der Produktenfernleitung bzw. schräg ins Erdreich eindringende Trümmerteile verlieren schneller an Energie und dringen somit nicht so tief ins Erdreich ein. Bei Treffern neben der Produktenfernleitung (Abstand größer 1m) konnte keine direkte Schädigung der Produktenfernleitung festgestellt werden.

Da keine Informationen zur Bodenbeschaffenheit am Standort vorliegen /7/, wurde konservativ ein weicher Boden angenommen und auf dieser Basis die mögliche Schadenswirkung von Rotorblatttreffern im Nahbereich der Ferngasleitung bewertet. Über die angenommenen Sondierungswiderstände wird die Energieaufnahmefähigkeit des Bodens ermittelt. Die möglichen Treffer werden dahingehend bewertet, inwieweit diese in Abhängigkeit ihrer kinetischen Energie und der möglichen Auftreffwinkel geeignet sind, die Ferngasleitung zu beschädigen. Hierbei wird der Durchmesser der Ferngasleitung um 10% erhöht und damit ein Tangieren der Rohrleitung konservativ als ein direkter Schaden berücksichtigt. Für den Flug des Rotorblattes wird zugrunde gelegt, dass das Rotorblatt in allen Ebenen um seinen Schwerpunkt frei trudelt und damit beim Auftreffen auf dem Boden jede Lage im Raum einnehmen kann.

Unter Berücksichtigung der ermittelten möglichen Treffer der Ferngasleitung, des jeweiligen Schadenspotentials (inkl. Trefferwahrscheinlichkeit) sowie der Ereignishäufigkeit Rotorblattbruch von $5,0E-04$ pro WEA und Jahr wurde eine Trefferhäufigkeit der Ferngasleitung durch Rotorblattbruch der WEA 08 von $5,0E-06$ Treffern pro Jahr ermittelt. Dies entspricht im Mittel einem schädigenden Treffer alle 200.000 Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.3.5 Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30

Auf Basis der in Abbildung 6 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund eines Rotorblattbruchs der geplanten WEA 08 zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Kreisstraße K30 konservativ eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich erhöht wird.

Ein Rotorblattbruch ist dann als personengefährdend einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Bruchobjektes mit der Zeit und dem Ort des zu betrachtenden Fahrzeugs übereinstimmen. Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{RJ} \cdot h_{TRj} \cdot A_T \cdot P_{RA} \cdot n_D \cdot P_{Aj} \cdot k_T ,$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

- H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).
 H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.
 h_{RJ} : Häufigkeit Rotorblattbruch pro WEA und Jahr, $h_{RJ} = 5,0E-04/a$ (Kapitel 3.3.1).
 h_{TRj} : Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Rotorblattbruch (Ergebnis der Simulation).
 A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (10 m²).
 P_{RA} : Wahrscheinlichkeit, an einem Tag mit Rotorblattbruch-Ereignis anwesend zu sein, $P_{RA} = 225/365$ (Annahme: Berufspendler:in). Nutzung an 225 Tagen im Jahr pro Person, z.B. Berufspendler:in, welche:r an 225 Tagen pro Jahr die Straße passiert.
 n_D : Anzahl der täglichen Fahrten durch den Bereich j, $n_D = 2$ (Annahme: Berufspendler:in). Zwei Fahrten pro Tag, z.B. Berufspendler:in, welche:r die Straße zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).
 P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Fahrzeugs v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 6), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.
 k_T : Korrekturfaktor, der berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt einen, im Vergleich zu seiner Trefferfläche, größeren Schaden verursacht.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich eine Trefferhäufigkeit von $2,9E-11$ Treffern pro Jahr (Individualrisiko). Dies entspricht im Mittel einem lebensbedrohlichen Treffer durch Rotorblattbruch ca. alle 34,5 Mrd. Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.3.6 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) auf der Kreisstraße K30

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch Rotorblattbruch wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.3.5), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K30 berücksichtigt. Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{RJ} \cdot h_{TRj} \cdot h_{aVT} \cdot A_T \cdot P_{Aj} \cdot k_T,$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

- H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).
 H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.
 h_{RJ} : Häufigkeit Rotorblattbruch pro WEA und Jahr, $h_{RJ} = 5,0E-04/a$ (Kapitel 3.3.1).
 h_{TRj} : Häufigkeit der Treffer pro m² im Bereich j pro Rotorblattbruch (Ergebnis der Simulation).

- h_{aVT} : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K30 werden auf Basis der Angaben aus /9/ 3.570 Kfz pro Tag angesetzt.
- A_T : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (10 m^2).
- P_{Aj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines ungeschützten Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der Fahrzeuge v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 6), $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$.
- k_T : Korrekturfaktor, der berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt einen, im Vergleich zur Trefferfläche, größeren Schaden verursacht.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich eine Trefferhäufigkeit von $1,5E-10$ Treffern pro Jahr und Meter (Gefährdung des Straßenverkehrs). Dies entspricht im Mittel einem lebensbedrohlichen Treffer durch Rotorblattbruch ca. alle 6,6 Mrd. Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.4 Turmversagen

Der Gefährdungsbereich bei Turm- oder Fundamentversagen ergibt sich in Abhängigkeit von der Bruchstelle. Bei einem Bruch direkt über dem Fundament oder bei Fundamentversagen ergibt sich der Gefährdungsbereich annähernd aus der Gesamthöhe der WEA. Eine Streuung von Trümmerteilen über diesen Gefährdungsradius hinaus wird für dieses Schadensereignis nicht angenommen.

Trümmerobjekte durch Turmversagen (inkl. Fundamentversagen, Gondelabsturz), die aus großer Höhe herabstürzen, stellen für Personen und Produktenfernleitungen im Trefferbereich eine ernste Gefahr dar. Ein Turmversagen kann z. B. bei Versagen des Bremssystems /31/ oder Materialermüdung /32/ auftreten.

3.4.1 Generische Ereignishäufigkeiten

Es sind bereits mehrere Ereignisse bekannt, bei denen WEA aufgrund eines Turm- oder Fundamentversagens vollständig oder teilweise umgestürzt sind. Darüber hinaus sind Schadensereignisse bekannt, bei denen die Gondel einschließlich Rotor vom Turm gebrochen ist. TÜV NORD geht nach Auswertung der verfügbaren Ereignis-Datenbanken /28/, /29/ von einer Schadenshäufigkeit von $5,0E-05$ pro WEA und Jahr aus. Diese Schadenshäufigkeit ergibt sich aus einer Auswertung der TÜV NORD bekannten Schadensereignisse in Deutschland /28/ und einer Auswertung aus den Niederlanden /29/. Die Schadensereignisse werden auf die Betriebsdauer und die Anzahl an WEA bezogen, um die Eintrittswahrscheinlichkeit pro Jahr und WEA zu ermitteln. Die Angaben über die Anzahl der in Deutschland errichteten WEA können aus /30/ entnommen werden.

3.4.2 Gefährdungsbereiche

In Abbildung 7 sind die maximalen Gefährdungsradien bei Turmversagen (innen – Gondel, außen – Gesamthöhe) dargestellt. Hieraus ist zu erkennen, dass die Kreisstraße K30 und die Ferngasleitung durch ein mögliches Turmversagen der WEA 08 betroffen sein können (siehe weitere Risikobeurteilung Kapitel 3.4.3 bis 3.4.5). Der Gefährdungsbereich der Kreisstraße K30 ist in Abbildung 7 exemplarisch dargestellt. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass der nordöstliche Randbereich des Gewerbegebiets durch ein mögliches Turmversagen der WEA 03 betroffen sein kann. Die Gefährdung von Personen innerhalb des betroffenen Bereichs und die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Wirtschaftswegen werden in Kapitel 7 qualitativ bewertet.

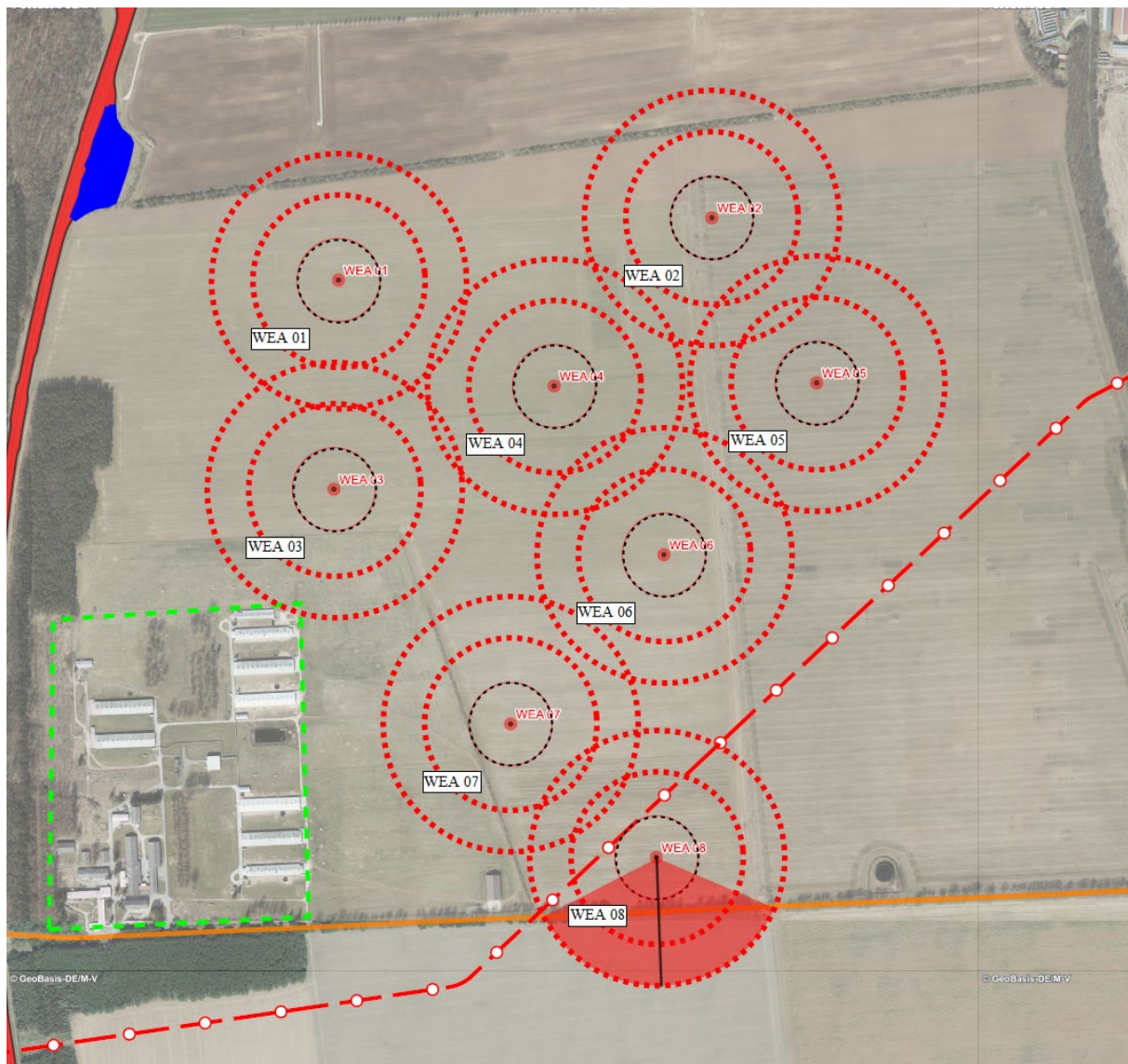


Abbildung 7: Gefährdungsbereich der Kreisstraße K30 (rot) bei Turmversagen (schwarzer Balken). Gefährdungsradien (rot gestrichelt): innen – Gondel, außen – Gesamthöhe.

3.4.3 Gefährdung der Ferngasleitung

Ein Schadensereignis mit direkter Gefährdung für die Ferngasleitung tritt für den Fall ein, dass schwere Teile der WEA auf die Leitung stürzen. Der Gefährdungsbereich ergibt sich in Abhängigkeit von der Bruchstelle. Bei einem Bruch direkt über dem Fundament ergibt sich der maximale Gefährdungsbereich aus der Gesamthöhe der WEA. In der Abbildung 8 ist der Gefährdungsbereich für die Ferngasleitung dargestellt.

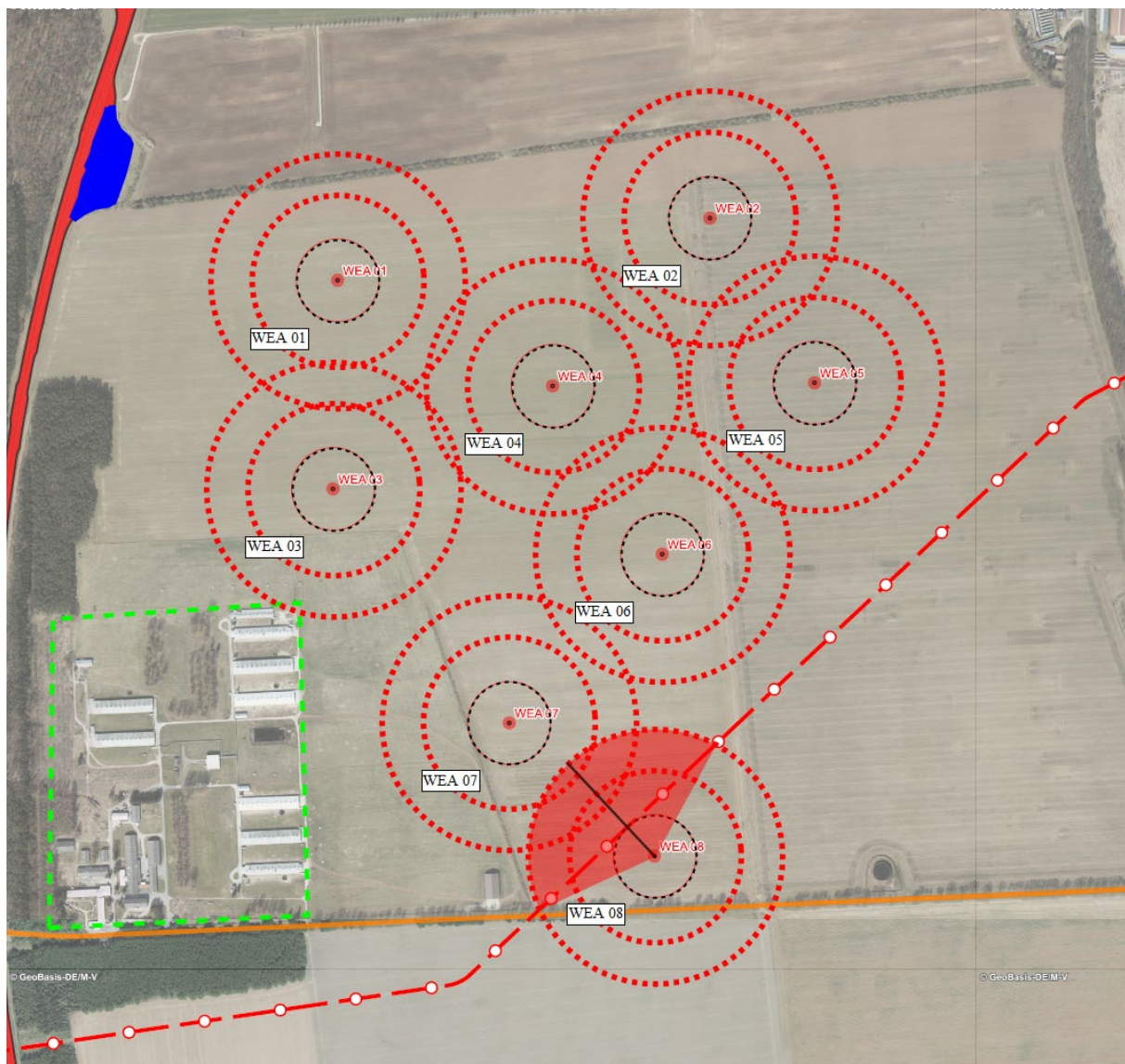


Abbildung 8: Gefährdungsbereich (hellrot) der Ferngasleitung bei Turmversagen (schwarzer Balken). Gefährdungsradien (rot gestrichelt): innen – Gondel, außen – Gesamthöhe.

Ein Turmversagen ist dann als gefährdend einzustufen, wenn der Turm in Richtung der Ferngasleitung fällt und wenn der Bruch in Abhängigkeit der Fallrichtung in einer Höhe erfolgt, sodass Teile der WEA (Turm, Gondel oder Rotorblatt) die Leitung treffen

(Trefferwahrscheinlichkeit). Die Trefferwahrscheinlichkeit ergibt sich aus der geometrischen Beziehung des gefährdeten Trefferbereichs zum gesamten möglichen Trefferbereich (Winkelbeziehung). Zusätzlich wird eine gleichverteilte mögliche Bruchposition über die gesamte Höhe des Turms angesetzt. Daraus ergibt sich eine Trefferhäufigkeit der Ferngasleitung durch Turmversagen der WEA 08 von $1,4E-05$ Treffern pro Jahr ermittelt. Dies entspricht im Mittel einem schädigenden Treffer ca. alle 71.428 Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.4.4 Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30

Auf Basis der in Abbildung 7 dargestellten Gefährdungsbereiche wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund eines Turmversagens der geplanten WEA 08 zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Kreisstraße K30 konservativ eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich erhöht wird.

Ein Turmversagen ist dann als personengefährdend einzustufen, wenn Zeit und Ort des Treffers des Bruchobjektes mit der Zeit und dem Ort des zu betrachtenden Fahrzeugs übereinstimmen. Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Tj} \cdot P_{TA} \cdot n_D \cdot P_{Sj} \cdot P_{Asj} \cdot P_{Atj} \cdot k_T,$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr.

H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

h_{Tj} : Häufigkeit Turmversagen pro WEA und Jahr, $h_{Tj} = 5,0E-05/a$ (Kapitel 3.4.1).

P_{TA} : Wahrscheinlichkeit, am Tag eines Turmversagens anwesend zu sein, $P_{TA} = 225/365$ (Annahme: Berufspendler:in). Nutzung an 225 Tagen im Jahr pro Person, z.B. Berufspendler:in, welche:r an 225 Tagen pro Jahr die Straße passiert.

n_D : Anzahl der täglichen Fahrten durch den Bereich j, $n_D = 2$ (Annahme: Berufspendler:in). Zwei Fahrten pro Tag, z.B. Berufspendler:in, welche:r die Straße zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).

P_{Sj} : Wahrscheinlichkeit, dass der Turm die Kreisstraße K30 trifft (siehe Abbildung 7). Hierbei wird auch berücksichtigt, dass der Turm in beliebiger Höhe gleichverteilt brechen kann.

P_{Asj} : Wahrscheinlichkeit, sich im betroffenen Straßenbereich j aufzuhalten (örtlicher Aufenthalt). Verhältnis von Schutzobjekt (Fahrzeug inkl. Sicherheitszuschlag für die Ausdehnung des Turms) zu Gefährdungslänge.

P_{Atj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Fahrzeugs v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 7), $P_{Atj} = (l_j/v_F)/24h$.

k_T : Korrekturfaktor, der berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt im Vergleich zu seiner Trefferfläche einen größeren Schaden verursacht.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich eine Trefferhäufigkeit von $4,8E-10$ Treffern pro Jahr (Individualrisiko). Dies entspricht im Mittel einem lebensbedrohlichen Treffer durch Turmversagen ca. alle 2,1 Mrd. Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

3.4.5 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) auf der Kreisstraße K30

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch Turmversagen wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.4.4), zusätzlich die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K30 berücksichtigt. Es ergibt sich der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Tj} \cdot h_{aVT} \cdot P_{Sj} \cdot P_{Asj} \cdot P_{Atj} \cdot k_T ,$$

$$H_T = \sum_j H_{Tj} \text{ mit}$$

H_{Tj} : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr.

H_T : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

h_{Tj} : Häufigkeit Turmversagen pro WEA und Jahr, $h_{Tj} = 5,0E-05/a$ (Kapitel 3.4.1).

h_{aVT} : Verkehrsdichte: Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte auf der Kreisstraße K30 werden auf Basis der Angaben aus /9/ 3.570 Kfz pro Tag angesetzt.

P_{Sj} : Wahrscheinlichkeit, dass der Turm das Schutzobjekt trifft / in Richtung Schutzobjekt fällt (siehe Abbildung 7). Hierbei wird auch berücksichtigt, dass der Turm in beliebiger Höhe gleichverteilt brechen kann.

P_{Asj} : Wahrscheinlichkeit, sich im betroffenen Straßenbereich j aufzuhalten (örtlicher Aufenthalt). Verhältnis von Schutzobjekt (Fahrzeug inkl. Sicherheitszuschlag für die Ausdehnung des Turms) zu Gefährdungslänge.

P_{Atj} : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit des Fahrzeugs v_F , Länge des Straßenabschnitts l_j aus Abbildung 7), $P_{Atj} = (l_j/v_F)/24h$.

k_T : Korrekturfaktor, der berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt im Vergleich zu seiner Trefferfläche einen größeren Schaden verursacht.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergibt sich eine Trefferhäufigkeit von $3,1E-09$ Treffern pro Jahr und Meter (Gefährdung des Straßenverkehrs). Dies entspricht im Mittel einem lebensbedrohlichen Treffer durch Turmversagen ca. alle 322,6 Mio. Jahre. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

4 Bewertungsmaßstab Ferngasleitung

Die Herleitung eines Bewertungsmaßstabs für Produktenfernleitungen erfolgt auf Basis der DIN EN ISO 16708 „Rohrleitungstransportsysteme – Zuverlässigkeitsanalysen“ /34/. Dabei werden die Standortumgebung wie ein möglicher Personenaufenthalt im Gefahrenbereich und die Umwelteinflüsse in Bezug auf das transportierte Medium eingeordnet. Daraus ergibt sich die folgende akzeptable Schadenshäufigkeit (Sicherheitsklasse 2: Medium) /34/:

$$P_{f,target} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{P \cdot D^3} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{100 \cdot 1,422^3} = 1,7 \cdot 10^{-6} \quad [1/(km \cdot a)]$$

$P_{f,target}$: maximal akzeptable Eintrittswahrscheinlichkeit pro Kilometer und Jahr,

P: Innendruck [bar] (P = 100 bar /6/) und

D: Außendurchmesser der Rohrleitung [m] (D = 1,422 m /6/).

Eine ermittelte Häufigkeit eines Schadens der betrachteten Ferngasleitung am Standort Banzkow unterhalb von $1,7E-06$ pro Kilometer und Jahr ist als akzeptabel zu bewerten. Liegt die ermittelte Häufigkeit eines Schadens der Ferngasleitung oberhalb von $1,7E-06$ pro Kilometer und Jahr, wird es als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

5 Bewertungsmaßstab Straßenverkehr

Da es in Deutschland kein einheitliches Risikoakzeptanzkriterium gibt, werden für die vorliegende Fragestellung verschiedene Quellen zur Ermittlung eines Risikogrenzwertes für die Bewertung der Gefährdung des Straßenverkehrs herangezogen:

- Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /33/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /35/.
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes /36/.
- Risk Criteria in EU /38/.
- Auswertung des VdTÜV /39/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /45/.

Zeigt es sich, dass sich das Risiko zu verunfallen infolge der betrachteten Gefährdung durch die WEA signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 10% zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /33/).

Im Rahmen der Beurteilung der Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen im öffentlichen Straßenverkehr werden die Gefährdung der einzelnen Verkehrsteilnehmer:innen und die Gefährdung des Straßenverkehrs der betroffenen Verkehrsabschnitte berücksichtigt. Für die Bewertung einzelner Verkehrsteilnehmer:innen werden im Folgenden Bewertungsmaßstäbe für das Individualrisiko herangezogen (siehe Kapitel 5.1).

Zur Beurteilung der Gesamtsituation ist neben der Bewertung des Individualrisikos auch die Betrachtung der Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko) nötig. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen /36/ beurteilt (siehe Kapitel 5.2).

5.1 Individualrisiko

MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /33/ beschreibt die gegebene Sterberate pro Person und Jahr unter Berücksichtigung verschiedener Ursachen aus den Bereichen Freizeit, Arbeit und Verkehr. In wirtschaftlich gut entwickelten Ländern liegt die minimale endogene Sterblichkeit in der Gruppe der 5- bis 15-jährigen /33/. Die in /33/ getätigten Angaben decken sich mit Erhebungen der GBE /35/. Auf Basis des MEM-Prinzips lässt sich der Risikogrenzwert für das Individualrisiko zu $1,0E-05$ pro Person und Jahr ableiten.

Freizeitunfälle

Auf Basis der Unfallstatistiken der GBE /35/ und der Bedingung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), lässt sich der folgende Risikogrenzwert ableiten:

- Risiko eines tödlichen Freizeitunfalls: $6,0E-06$ je Person und Jahr.

VdTÜV

Vom VdTÜV wurden in einer Auswertung /39/ die folgenden Risikogrenzwerte angegeben:

- Niederlande: $1,0E-05/a$ für bestehende Anlagen, $1,0E-06/a$ für geplante Anlagen.
- Deutschland, Empfehlung des VdTÜV: Solange keine offiziellen Werte für Deutschland festgelegt werden, schlagen die Verfasser vor, für das Individualrisiko den Wert für Neuanlagen in den Niederlanden mit $1,0E-06/a$ zu verwenden.

Werden die aufgeführten Quellen zur Ermittlung eines Risikoakzeptanzkriteriums verglichen, so zeigt sich, dass die Risikoakzeptanzkriterien in guter Übereinstimmung zueinander in einem Bereich von $1,0E-06$ bis $1,0E-05$ liegen. Zusammenfassend lässt sich für das Individualrisiko (lebensbedrohlicher Unfall/Jahr) folgendes feststellen:

- Der untere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von $1,0E-06$ pro Person und Jahr.
- Der obere Grenzwert des Individualrisikos liegt in einer Größenordnung von $1,0E-05$ pro Person und Jahr.

Ein ermitteltes Individualrisiko unterhalb von $1,0E-06$ pro Jahr wird als akzeptabel bewertet. Liegt das ermittelte Individualrisiko in einem Bereich zwischen $1,0E-06$ pro Jahr

und $1,0E-05$ pro Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip (As Low As Reasonably Practicable) /38/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko oberhalb von $1,0E-05$ pro Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

5.2 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch die geplanten WEA wird das allgemein vorliegende Risiko im Straßenverkehr betrachtet. Diesbezüglich ist in Anlehnung an die Straßenverkehrsordnung (StVO) der Bundesrepublik Deutschland die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten /37/ und darf durch den Zubau einer WEA nicht gefährdet werden. Für die Bewertung der Gefährdung des Straßenverkehrs werden die aktuellen Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes herangezogen /36/. Zeigt es sich, dass sich das Unfallrisiko des zu beurteilenden Straßenabschnittes signifikant erhöht, so sind entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Als signifikant ist hierbei eine Risikoerhöhung größer als 10% zu betrachten (in Anlehnung an das Prinzip der MEM, beschrieben in /33/). In Anlehnung an die Vorgaben der StVO /37/ werden für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs nicht nur die möglichen Unfälle mit tödlichem Ausgang betrachtet, sondern alle Unfälle mit einer schweren Unfallfolge herangezogen und bewertet.

Die Daten des Statistischen Bundesamtes zu den Verkehrsunfällen sind für unterschiedliche Situationen aufbereitet /36/. In den letzten zehn Jahren gab es in Deutschland je 1.000 km Straßenlänge jährlich durchschnittlich

- innerorts 4.003,
- außerorts ohne Autobahnen 436 und
- auf Autobahnen 1.459

Unfälle mit Personenschaden.

Zusätzlich sind in /36/ die gesamte Anzahl der Unfälle mit Personenschäden, die Anzahl der Personenschäden und die Anzahl der getöteten, schwer- und leichtverletzten Verkehrsteilnehmer:innen angegeben. Hieraus lässt sich für die jeweilige Verkehrssituation die Gefährdung im Straßenverkehr ableiten. Auf Basis der Unfallstatistiken der letzten zehn Jahre ergibt sich die Unfallohfigkeit von schweren Verkehrsunfällen mit Personenschäden außerorts (ohne Autobahn) zu $1,0E-01$ pro km und Jahr. Dies entspricht etwa einem schweren Verkehrsunfall mit tödlichem Ausgang bzw. schwerverletzten Personen alle 10 Jahre pro Kilometer.

Unter Berücksichtigung, dass das vorherrschende Risiko nicht signifikant steigen darf (max. 10%), ergibt sich daraus die obere Grenze des zu berücksichtigenden Risikogrenzwertbereichs für die Gefährdung des Straßenverkehrs außerorts (ohne Autobahn) zu $1,0E-02$ schwere Verkehrsunfälle mit Personenschäden je Kilometer und Jahr bzw. zu $1,0E-05$ pro Meter und Jahr.

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /38/ leitet sich daraus der folgende Risikogrenzwertbereich für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs außerorts (ohne Autobahn) ab:

- Untere Grenze: Der untere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von $1,0E-06$ pro Meter und Jahr.
- Obere Grenze: Der obere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von $1,0E-05$ pro Meter und Jahr.

Bezogen auf die am Standort Banzkow zu betrachtenden Straßenabschnitte bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb von $1,0E-06$ pro Meter und Jahr als akzeptabel bewertet wird. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit in einem Bereich zwischen $1,0E-06$ pro Meter und Jahr und $1,0E-05$ pro Meter und Jahr ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /38/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Eine Unfallhäufigkeit oberhalb von $1,0E-05$ pro Meter und Jahr wird als unakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

6 Modell- und Datenunsicherheiten

Um den Aufwand der Analyse zu begrenzen, wurden vereinfachte Annahmen und Randbedingungen getroffen. Sämtliche Vereinfachungen sind dabei stets konservativ gewählt worden.

Generell können Modellrechnungen die Realität nur annähernd erfassen und sind daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung zu verwenden. Die ermittelten Ergebnisse gelten nur unter den genannten Randbedingungen und unter Annahme der Richtigkeit der eingereichten Unterlagen. Es ist davon auszugehen, dass eine Abgrenzung der Gefährdungsbereiche im Ereignisfall in der Realität nicht so scharf ist, wie in den Ergebnissen dargestellt. Insofern sind die dargestellten Ergebnisse als ungefähre Darstellung zu verstehen und dienen der Orientierung.

7 Zusammenfassung und Risikobewertung

Am Standort Banzkow in Mecklenburg-Vorpommern plant die NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG die Errichtung von acht WEA des Typs Vestas V162 mit 169,0 m NH und 162,0 m D. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die Autobahn A14, die Kreisstraße K30 sowie eine Ferngasleitung.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Personen auf dem Gelände des Autobahnrastplatzes „Plater Berg Ost“ oder dem nahegelegenen Gewerbegebiet, eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14, der Kreisstraße K30

(„Hamburger Frachtweg“) sowie den umliegenden Wirtschaftswegen oder eine besondere Gefährdung der nahegelegenen Ferngasleitung durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch oder Turmversagen von den geplanten WEA vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

7.1 Eisabwurf und Eisabfall

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall ist zu erkennen, dass die landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswegen in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile der Kreisstraße K30 durch Eisabwurf und Eisabfall betroffen sind. Des Weiteren sind Teile des Gewebegebiets durch Eisabwurf der geplanten WEA 03 betroffen. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 und von Personen auf dem Rastplatz „Plater Berg Ost“ durch Eisabwurf und Eisabfall von den geplanten WEA ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.1.4. nicht anzunehmen. Eine Gefährdung der Ferngasleitung durch Eisabwurf oder Eisabfall ist ebenfalls nicht anzunehmen, da die unterirdisch verlegte Leitung vor auftretenden Eisobjekten geschützt ist.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswegen ist eine unzulässige Gefährdung durch Eisabwurf oder Eisabfall nicht anzunehmen, da die Wintermonate außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode liegen und im Winter mit weniger landwirtschaftlichem Verkehr zu rechnen ist. Sollten dennoch Arbeiten außerhalb der üblichen Wirtschaftsperiode im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in überdachten Maschinen ausgeführt, welche einen Schutz gegen möglichen Eisabwurf/Eisabfall bieten. Die Fahrer:innen landwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabstürzende Eisobjekte geschützt. Sie haben über sich ein festes Dach und vor sich eine senkrechte Scheibe. Ein von oben herabstürzendes Eisobjekt könnte demnach auf das Dach fallen. TÜV NORD sind bisher keine Berichte bekannt, wonach ein herabfallendes Eisobjekt ein festes Fahrzeugdach durchschlagen hat.

Aufgrund der möglichen Gefährdung von Personen auf dem Gelände des Gewerbegebiets sowie der möglichen Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Eisabwurf sollten die WEA 03 und WEA 08 mit einem unabhängig geprüften Eiserkennungssystem ausgestattet werden.

Für die Bewertung der verbleibenden Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Eisabfall ist zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) und zum anderen das Gruppenrisiko (Gefährdung des Straßenverkehrs) zu betrachten. Die ermittelten Gefährdungen sowie die zugehörigen Risikogrenzwertbereiche sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 dargestellt.

Gefährdung	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/a]
Eisabfall	5,9E-07	1,0E-06 bis 1,0E-05

Tabelle 6: Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Eisabfall von der WEA 08.

Gefährdung	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/a]
Eisabfall	6,3E-07	1,0E-06 bis 1,0E-05

Tabelle 7: Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K30 durch Eisabfall von der WEA 08.

Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 mit den in Kapitel 5 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass:

- das ermittelte Individualrisiko unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 5.1) liegt und somit als akzeptabel einzustufen ist.
- die ermittelte Gefährdung des Straßenverkehrs innerhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 5.2) liegt und somit als tolerabel einzustufen ist. Es sind aber im Sinne des ALARP-Prinzips /38/ risikomindernde Maßnahmen zu prüfen und nach Möglichkeit umzusetzen (siehe Kapitel 7.3).

7.2 Rotorblattbruch und Turmversagen

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Rotorblattbruch und Turmversagen ist zu erkennen, dass die landwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile der Kreisstraße K30, der Ferngasleitung und des Gewerbegebiets durch Rotorblattbruch und Turmversagen betroffen sein können. Eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14 und von Personen auf dem Rastplatz „Plater Berg Ost“ durch Rotorblattbruch und Turmversagen der geplanten WEA ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.2.2. nicht anzunehmen.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege (inkl. Zufahrten der geplanten WEA) sowie der betroffenen Abschnitte des Gewerbegebiets ist eine unzulässige Gefährdung durch Rotorblattbruch und Turmversagen nicht anzunehmen, da die flächenbezogene Nutzungshäufigkeit durch Personen als gering anzusehen ist /5/.

Für die Bewertung der Gefährdung im Straßenverkehr ist zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) und zum anderen das Gruppenrisiko (Gefährdung

des Straßenverkehrs) zu betrachten. Für die Kreisstraße K30 wurden die Gefährdungen für Verkehrsteilnehmer:innen bestimmt. Die ermittelten Gefährdungen sowie die zugehörigen Risikogrenzwertbereiche sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt.

Gefährdung	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/a]
Rotorblattbruch und Turmversagen	5,1E-10	1,0E-06 bis 1,0E-05

Tabelle 8: Individualrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 durch Rotorblattbruch und Turmversagen der WEA 08.

Gefährdung	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/a]
Rotorblattbruch und Turmversagen	3,3E-09	1,0E-06 bis 1,0E-05

Tabelle 9: Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K30 durch Rotorblattbruch und Turmversagen der WEA 08.

Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 mit den in Kapitel 5 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass:

- die ermittelten Individualrisiken durch Rotorblattbruch und Turmversagen jeweils deutlich unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 5.1) liegen und somit als akzeptabel einzustufen sind.
- die ermittelten Gefährdungen des Straßenverkehrs durch Rotorblattbruch und Turmversagen jeweils deutlich unterhalb des hergeleiteten Risikogrenzwertbereichs (siehe Kapitel 5.2) liegen und somit als akzeptabel einzustufen sind.

Für die Bewertung der Gefährdung der Ferngasleitung wurden die Risiken einer Beschädigung aufgrund eines Rotorblattbruchs oder Turmversagens der geplanten WEA 08 ermittelt (siehe Kapitel 3.3.4 und Kapitel 3.4.3). Die ermittelte Gesamtgefährdung sowie der zugehörige Risikogrenzwert sind in Tabelle 10 dargestellt.

Gefährdung	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwert [Treffer/a]
Rotorblattbruch und Turmversagen	1,9E-05	1,7E-06

Tabelle 10: Gefährdung der Ferngasleitung durch Rotorblattbruch und Turmversagen der WEA 08.

Der Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung der Ferngasleitung mit dem in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwert zeigt, dass die ermittelte Gesamtgefährdung oberhalb des hergeleiteten Risikogrenzwert liegt. Die Gefährdung der Ferngasleitung ist somit als inakzeptabel zu bewerten und es sind Maßnahmen zur Risikoreduzierung umzusetzen (siehe Kapitel 7.3).

7.3 Maßnahmen zur Minderung des Risikos durch Eisabfall

Aufgrund der ermittelten Gefährdung des Straßenverkehrs auf der Kreisstraße K30 durch Eisabfall von der geplanten WEA 08 wurden im Sinne des ALARP-Prinzips /38/ mögliche risikomindernde Maßnahmen für den Eisabfall durch die NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG geprüft und der Einsatz einer Parkposition bei Eisansatz als umsetzbar bewertet /8/.

Wurde durch das Eiserkennungssystem Eisansatz an der geplanten WEA 08 erkannt, könnte der Rotor in eine Parkposition parallel zur Kreisstraße 30 gefahren und dort fixiert werden. Hierbei sollte der Rotor in eine Position gefahren werden, mit welcher der größtmögliche Abstand zur Straße sichergestellt ist.

Der Effekt der Parkposition bei der WEA 08 wurde im Rahmen einer Simulation untersucht. Hierbei wurde eine Ausrichtung des Rotors in einem Winkel von $87,5^\circ$ (ausgehend von einer Ausrichtung nach Norden (12 Uhr-Position)) angesetzt. Im Rahmen der Simulation des Eisabfalls bei fester Parkposition wurde berücksichtigt, dass diese bis zu einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s angefahren wird und sich der Rotor bei Windgeschwindigkeiten oberhalb von 15 m/s in den Wind dreht /10/. Die Berechnungen des Risikos unter Berücksichtigung der Parkposition bei der WEA 08 ergeben eine erkennbare Risikoreduzierung (siehe Tabelle 11). Für die WEA 08 ist der Einsatz der Parkposition bei Eisansatz somit eine effektive Maßnahme zur Risikoreduzierung und sollte umgesetzt werden.

Szenario	Trefferhäufigkeit je Meter und Jahr [Tref-fer/(a*m)]
Ohne Parkposition	6,3E-06
Mit Parkposition ($87,5^\circ$)	1,8E-06

Tabelle 11: Gefährdung des Straßenverkehrs durch Eisabfall mit und ohne Parkposition.

Weitere risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung des Eiserkennungssystems (siehe Kapitel 3.1.2) sowie der Ergebnisse aus Kapitel 3 empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /23/, /25/ durch eine unabhängige fachkundige Person im

Sinne des Vier-Augen-Prinzips geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /23/, /25/ durch eine unabhängige fachkundige Person im Sinne des Vier-Augen-Prinzips regelmäßig aufzuzeigen. Für die Inbetriebnahme des Eiserkennungssystems sollte die Anlernphase berücksichtigt werden. Ist die Anlernphase nicht vor den winterlichen Vereisungsereignissen abgeschlossen, so sind geeignete Maßnahmen zur Vermeidung eines Eisabwurfs vorzusehen.

- Durch Hinweisschilder ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftswegen auf die Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall aufmerksam zu machen. Die Schilder sind so aufzustellen, dass sie von möglichen Benutzer:innen der Wirtschaftswege frühzeitig erkannt werden. Hierbei können die Schilder durch ein eindeutiges Piktogramm /45/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabwurf/Eisabfall hinweist. Dabei sollten folgende Abstände gewählt werden:
 - mind. im Abstand der 1,3-fachen Gesamthöhe der WEA, wenn kein unabhängig geprüftes Eiserkennungssystem verbaut wird.
 - mind. im Abstand der Gesamthöhe der WEA, wenn ein unabhängig geprüftes Eiserkennungssystem verbaut wird.

7.4 Maßnahmen zur Minderung des Risikos durch Rotorblattbruch und Turmversagen

Aufgrund der ermittelten Gefährdung der Ferngasleitung durch Rotorblattbruch und Turmversagen der geplanten WEA 08 sind risikomindernde Maßnahmen umzusetzen. Gemäß /8/ sollen die folgenden Maßnahmen für die WEA 08 umgesetzt werden:

- Maßnahmen zur permanenten Zustandsüberwachung (Condition Monitoring System (CMS)) der Rotorblätter und des Turms. Das zusätzliche CMS soll dabei die vorhandenen Sicherheitssysteme der geplanten WEA unterstützen, sodass ein möglicher Schaden oder Schadstellen frühzeitig erkannt werden, bevor dadurch eine Gefährdung durch Rotorblattbruch oder Turmversagen (z.B. durch unzulässige Schwankungen der WEA) entsteht.
- Jährliche wiederkehrende Prüfung (WKP) der Rotorblätter und der Standsicherheit des Turms inklusive Fundament und Verbindung zwischen Gondel und Turm (mind. Sichtprüfung) gemäß /23/, /25/ (zusätzlich zu bestehenden Wartungsverträgen) sowie den Grundsätzen des BWE /43/, /44/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /42/.

Weitere risikoreduzierende Maßnahmen

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Kapitel 3 empfiehlt TÜV NORD die folgenden üblichen Maßnahmen zur weiteren Minderung des Restrisikos:

- Organisatorische Maßnahmen, wie ein detaillierter Alarmplan, der im Falle eines drohenden oder eingetretenen Rotorblattschadens bzw. Turmversagens die Abschaltung der WEA sowie eine Benachrichtigung der Betreiberin oder des Betreibers der Ferngasleitung, der Alarmierungsstellen und weitere Schadensbegrenzung regelt.
- Prüfung, Schadstellenbewertung und –dokumentation der Rotorblätter im Rahmen der Montage bzw. der Inbetriebnahme /25/, /23/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /42/.
- Messung der Blattwinkel und Massenunwuchten des Rotors nach der Inbetriebnahme, um Blattwinkel und Blattmassen zur Reduktion von Turm-Gondel-Schwingungen und weiterer dynamischer Lasten im Zweifelsfall justieren zu können.

7.5 Risikobewertung

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass in der Realität nicht jeder Treffer eines Eisobjekts zu einem lebensbedrohlichen Unfall führen wird (dies betrifft die Geschwindigkeit und das Gewicht der Eisobjekte, die Trefferfläche sowie die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zum Zeitpunkt des Treffers des Eisobjekts),
- dass in der Realität nicht jeder Treffer der Ferngasleitung zu einer Beschädigung führen wird (dies betrifft zum einen Gewicht und Geschwindigkeit der Bruchobjekte als auch die Überdeckung und Integrität der Ferngasleitung),
- dass sich die abgeschalteten, vereisten WEA prinzipiell nicht von anderen Bauwerken mit Eisansatz unterscheiden,
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /5/ hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und im Winter, außerhalb der Wirtschaftsperiode, von einer eher geringen Frequentierung ausgegangen werden kann,
- dass davon auszugehen ist, dass der landwirtschaftliche Verkehr überwiegend mit geschützten Maschinen oder Fahrzeugen erfolgt (landwirtschaftlicher Verkehr ist im Winter außerhalb der Wirtschaftsperiode als eher gering anzusehen),
- dass Warnhinweise zur Warnung vor akuter Eisabfallgefahr an allen möglichen Zugängen zum Windpark aufgestellt werden sollen und hierüber die Möglichkeit zur Gefahrenvermeidung gegeben ist,

ist das nach Umsetzung obiger Maßnahmen zur Eiserkennung bzw. Abschaltung bei Eisansatz und Risikominderung verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K30 („Hamburger Frachtweg“) und für die nahegelegene Ferngas-

leitung als tolerabel zu betrachten. Die vorgesehenen Maßnahmen zur Risikominderung entsprechen dem aktuellen Stand der Technik und sind als Vorsorge gegen Gefahren für die Allgemeinheit als ausreichend zu bewerten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern /24/ eingeführten technischen Regeln Anlage A 1.2.8/6: „Gefahr des Eisabfalls und Eisabwurfs bei Unterschreitung eines Abstands von $1,5 \times (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})$ “

sowie in Anlehnung an

- das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /26/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine unzulässige Gefährdung der nahegelegenen Ferngasleitung, von Personen auf dem Gelände der Autobahnraststätte und dem nahegelegenen Gewerbegebiet oder von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A14, der Kreisstraße K30 („Hamburger Frachtweg“) sowie den umliegenden Wirtschaftswegen durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen der acht geplanten WEA am Standort Banzkow nach Umsetzung der genannten Maßnahmen zur Risikominderung nicht anzunehmen.

8 Rechtsbelehrung

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme ist nur in ihrer Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden übermittelten Dokumente.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG leistet keine Gewähr für die Erfüllung von Vorhersagen. Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der eingereichten Unterlagen und Angaben und für durch unrichtige Angaben bedingte falsche Aussagen oder abgeleitete Empfehlungen.

Die von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG erbrachten Leistungen (z.B. Gutachten-, Prüf- und Beratungsleistungen) dürfen nur im Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks verwendet werden. Vorbehaltlich abweichender Vereinbarungen im Einzelfall, räumt TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG der NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG an seinen urheberrechtsfähigen Leistungen jeweils ein einfaches, nicht übertragbares sowie zeitlich und räumlich auf den Vertragszweck beschränktes Nutzungsrecht ein. Weitere Rechte werden ausdrücklich nicht eingeräumt, insbesondere ist die NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG nicht berechtigt, die Leistungen des Auftragnehmers zu bearbeiten, zu verändern oder nur auszugsweise zu nutzen.

Eine Veröffentlichung der Leistungen über den Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks hinaus, auch auszugsweise, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Eine Bezugnahme auf TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist nur bei Verwendung der Leistung in Gänze und unverändert zulässig.

Bei einem Verstoß gegen die vorstehenden Bedingungen ist TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG jederzeit berechtigt, der NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

9 Formelzeichen und Abkürzungen

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
a	Jahr	
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
BWE	Bundesverband Windenergie e.V.	
CMS	Condition Monitoring System	
D	Rotordurchmesser	[m]
GBE	Gesundheitsberichterstattung des Bundes	
h	Stunde	
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
Kfz	Kraftfahrzeug	
LKW	Lastkraftwagen	
MEM	Minimale endogene Sterblichkeit	
min	Minute	
NH	Nabenhöhe	[m]
P _{Nenn}	Nennleistung	[MW]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	
WEA	Windenergieanlage(n)	
WKP	Wiederkehrende Prüfung	

10 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mails vom 13.06.2023 und vom 28.06.2023.
- /2/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Lageplan: WP Banzkow, Stand: 28.06.2023. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 28.06.2023.
- /3/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Angaben zu den meteorologischen Daten. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 28.06.2023.
- /4/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Angaben zum Eiserkennungssystem. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 13.06.2023.
- /5/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mails vom 28.06.2023 und vom 28.07.2023.
- /6/ GASCADE Gastransport GmbH: Angaben zur Produktenfernleitung. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 28.06.2023.
- /7/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Angaben zur Bodenbeschaffenheit am Standort. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 28.06.2023.
- /8/ NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG. Prüfung risikomindernder Maßnahmen. Übermittelt durch NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.07.2023 und per Telefon am 03.08.2023.
- /9/ Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern. Verkehrsmengenkarte Mecklenburg-Vorpommern 2021.
- /10/ Vestas Central Europe A/S. Spezifizierung von "Yaw into Fixed Position due to Ice" (Windnachführung in arretierte Position aufgrund von Eis), Dokument-Nr. 0039-9510 V02, Stand 24.04.2019.
- /11/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /12/ Tammelin, B. et al. Wind Energy in Cold Climate, Final Report WECO (JOR3-CT95-0014), ISBN 951-679-518-6. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland. 2000.
- /13/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /14/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1981-2010 (Rasterdaten). www.dwd.de, Juni 2017.

- /15/ Wichura, B. (DWD). The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icings, IWAIS 2013.
- /16/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /17/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /18/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /19/ Cattin, R. et al. Four years of monitoring a wind turbine under icing conditions, IWAIS 2009, 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Bern. 2009.
- /20/ Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE); DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019; Windenergieanlagen – Teil 1 Auslegungsanforderungen (IEC 6140-1:2019). Dezember 2019.
- /21/ VTT Technical Research Centre of Finland. State-of-the-art of wind energy in cold climates. VTT WORKING PAPERS 152. ISBN 978-951-38-7493-3. 2010.
- /22/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.
- /23/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /24/ Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern. Verwaltungsvorschrift Technischen Baubestimmungen M-V (VV TB M-V). Fassung Januar 2023.
- /25/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.
- /26/ BImSchG 2022. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 19.10.2022.
- /27/ Jarass, H. D. 2012. Bundes-Immissionsschutzgesetz: BImSchG, Kommentar unter Berücksichtigung der Bundes-Immissionsschutzverordnungen, der TA Luft sowie der TA Lärm. Verlag C.H. Beck, München, 2012.
- /28/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Statistische Auswertung von Pressemeldungen über Havarien von Windenergieanlagen im Zeitraum 2010 bis 2021 (Internetrecherche). Hamburg. 2022.
- /29/ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: Actualisatie Faalfrequenties windturbines, RIVM-rapport 2021-0234.
- /30/ Deutsche WindGuard GmbH. Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Halbjahr 2023.

- /31/ Schaumburger Wochenblatt. „Burglind“ reißt Windkraftanlage zu Boden. Meldung vom 06.01.2018.
- /32/ LR-online.de. War es eine Windhose? Gutachter skeptisch. Meldung vom 14.12.2014.
- /33/ DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Oktober 2018.
- /34/ DIN EN ISO 16708. Erdöl- und Erdgasindustrie – Rohrleitungstransportsysteme – Zuverlässigkeitsanalysen (ISO 16708:2006); Englische Fassung EN ISO 16708:2006. August 2006.
- /35/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /36/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2022.
- /37/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Fassung vom 12.07.2021.
- /38/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /39/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /40/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /41/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /42/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.
- /43/ Bundesverband WindEnergie e.V. Grundsätze für die Wiederkehrende Prüfung von Windenergieanlagen. Berlin 2012.
- /44/ Bundesverband WindEnergie e.V. Grundsätze für die die Prüfung zur zustandsorientierten Instandhaltung von Windenergieanlagen. Osnabrück. 21.09.2007.
- /45/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.