

# **Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen im Windpark A3 - Maischeid**

Erstellt im Auftrag für

Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH  
Mainz

Revision 0

Hamburg, 13.12.2023

<b>Revision</b>	<b>Datum</b>	<b>Änderung</b>
0	13.12.2023	Erste Ausgabe

**Gegenstand:** Gutachtliche Stellungnahme zur Risikobeurteilung  
Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen im  
Windpark A3 - Maischeid

**Referenz-Nr.:** 2023-WND-RB-428-R0

**Auftraggeberin:** Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH  
Rheinstraße 43-45  
55116 Mainz

**Anlagenherstellerin:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich

<b>WEA-Typ:</b>	<b>P<sub>Nenn</sub> [MW]</b>	<b>D [m]</b>	<b>NH [m]</b>
ENERCON E-175 EP5	6,0	175,0	162,0

**Eingereichte Unterlagen:**

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

**Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:**

Verfasser	M.Sc. N. Cromm Sachverständiger	Hamburg, 13.12.2023
Geprüft durch	B.Sc. F. Lautenschlager Sachverständiger	Hamburg, 13.12.2023

**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](mailto:ncromm@tuev-nord.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Angaben zum Windenergieanlagen-Standort</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Risikoanalyse</b>	<b>10</b>
3.1	<i>Eisabwurf und Eisabfall</i>	10
3.1.1	Vereisungspotential	11
3.1.2	Automatische Eisabschaltung (Eisabwurf)	12
3.1.3	Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls	14
3.1.4	Trefferhäufigkeiten	15
3.1.5	Individualrisiko im Straßenverkehr	18
3.1.6	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)	19
3.2	<i>Rotorblattbruch</i>	21
3.2.1	Generische Ereignishäufigkeiten	21
3.2.2	Randbedingungen für die Untersuchungen des Rotorblattbruchs	21
3.2.3	Trefferhäufigkeiten	22
3.2.4	Individualrisiko im Straßenverkehr	24
3.2.5	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)	25
3.2.6	Individualrisiko im Bahnverkehr	27
3.2.7	Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko)	30
3.3	<i>Turmversagen</i>	31
3.3.1	Generische Ereignishäufigkeiten	32
3.3.2	Gefährdungsbereiche	32
3.3.3	Individualrisiko im Straßenverkehr	33
3.3.4	Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)	34
3.3.5	Individualrisiko im Bahnverkehr	36
3.3.6	Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko)	38
<b>4</b>	<b>Bewertungsmaßstab</b>	<b>39</b>
4.1	<i>Individualrisiko</i>	40
4.2	<i>Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)</i>	41
4.3	<i>Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko)</i>	43
<b>5</b>	<b>Modell- und Datenunsicherheiten</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Risikobewertung</b>	<b>46</b>

6.1	<i>Eisabwurf</i> .....	46
6.2	<i>Eisabfall</i> .....	46
6.3	<i>Rotorblattbruch und Turmversagen</i> .....	47
6.4	<i>Gesamtgefährdung</i> .....	48
6.5	<i>Empfohlene risikomindernde Maßnahmen</i> .....	49
6.6	<i>Abschließende Risikobewertung:</i> .....	50
<b>7</b>	<b>Rechtsbelehrung</b> .....	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Literatur- und Quellenangaben</b> .....	<b>54</b>

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan /3/ .....	9
Abbildung 2:	Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	16
Abbildung 3:	Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ] pro Eisabfall. Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	17
Abbildung 4:	Auftreffpunkte bei Rotorblattbruch. Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	22
Abbildung 5:	Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ] bei Rotorblattbruch. Rotorblatradius schwarz gestrichelt. ....	23
Abbildung 6:	Gefährdungsbereiche der Autobahn A3 (rot) bei Turmversagen (schwarzer Balken). Gefährdungsradien (rot gestrichelt): innen – Gondel, außen – Gesamthöhe. ....	32
Abbildung 7:	Risikoaversion auf Basis des MEM-Prinzips /32/. ....	44

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Koordinaten der geplanten WEA /2/ .....	10
Tabelle 2:	Prognostizierte, abgeworfene Eisobjekte/Vereisung. ....	12
Tabelle 3:	Idealisierte Eisobjekte. ....	15
Tabelle 4:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Eisabfall), *alles außerhalb der Zone 4. ....	16
Tabelle 5:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall. ....	19
Tabelle 6:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall. ....	20
Tabelle 7:	Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Rotorblattbruch), *alles außerhalb der Zone 4. ....	23
Tabelle 8:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Straßenverkehr bei Rotorblattbruch. ....	25
Tabelle 9:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Rotorblattbruch. ....	26
Tabelle 10:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Bahnverkehr bei Rotorblattbruch. ....	29
Tabelle 11:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Gefährdung des Bahnverkehrs bei Rotorblattbruch. ....	31

Tabelle 12:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Straßenverkehr bei Turmversagen. ....	34
Tabelle 13:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Turmversagen.....	35
Tabelle 14:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Bahnverkehr bei Turmversagen. ....	38
Tabelle 15:	Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Gefährdung des Bahnverkehrs bei Turmversagen. ....	39
Tabelle 16:	Gesamtgefährdungen, Individualrisiko durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. ....	48
Tabelle 17:	Gesamtgefährdungen des Straßenverkehrs durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. ....	48
Tabelle 18:	Gesamtgefährdungen des Bahnverkehrs durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. ....	49

## 1 Aufgabenstellung

Im Windpark A3 - Maischeid in Rheinland-Pfalz plant die Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH die Errichtung von zehn Windenergieanlagen (WEA) des Typs ENERCON E-175 EP5 mit 162,0 m Nabenhöhe (NH) und 175,0 m Rotordurchmesser (D). In der Nähe der geplanten WEA verlaufen mehrere höherrangige Straßen sowie eine Bahntrasse.

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /48/ §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, 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 Rheinland-Pfalz eingeführten Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen werden aufgrund einer Gefahr durch Eisabfall und Eisabwurf Mindestabstände definiert. Nach /49/ 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 Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH mit Schreiben vom 26.09.2023 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 Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Verkehrswegen sowie zur möglichen Gefährdung des Bahnverkehrs auf der nahegelegenen Bahntrasse 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. Qualitative Prüfung des Konzepts der Eiserkennung der WEA des Typs ENERCON E-175 EP5.
4. Darstellung des Vorgehens der Risikoanalyse.

5. Darstellung der möglichen Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte, Rotorblattbruch und Turmversagen bei den WEA des Typs ENERCON E-175 EP5 im Windpark A3 - Maischeid 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 von Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Verkehrswegen und die Gefährdung des Bahnverkehrs auf der nahegelegenen Bahntrasse 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 /54/.

## 2 Angaben zum Windenergieanlagen-Standort

Die jeweilige Lage der geplanten WEA des Typs ENERCON E-175 EP5 ist dem Lageplan in Abbildung 1 zu entnehmen, zusätzlich sind in der Tabelle 1 die Koordinaten der geplanten WEA eingetragen.

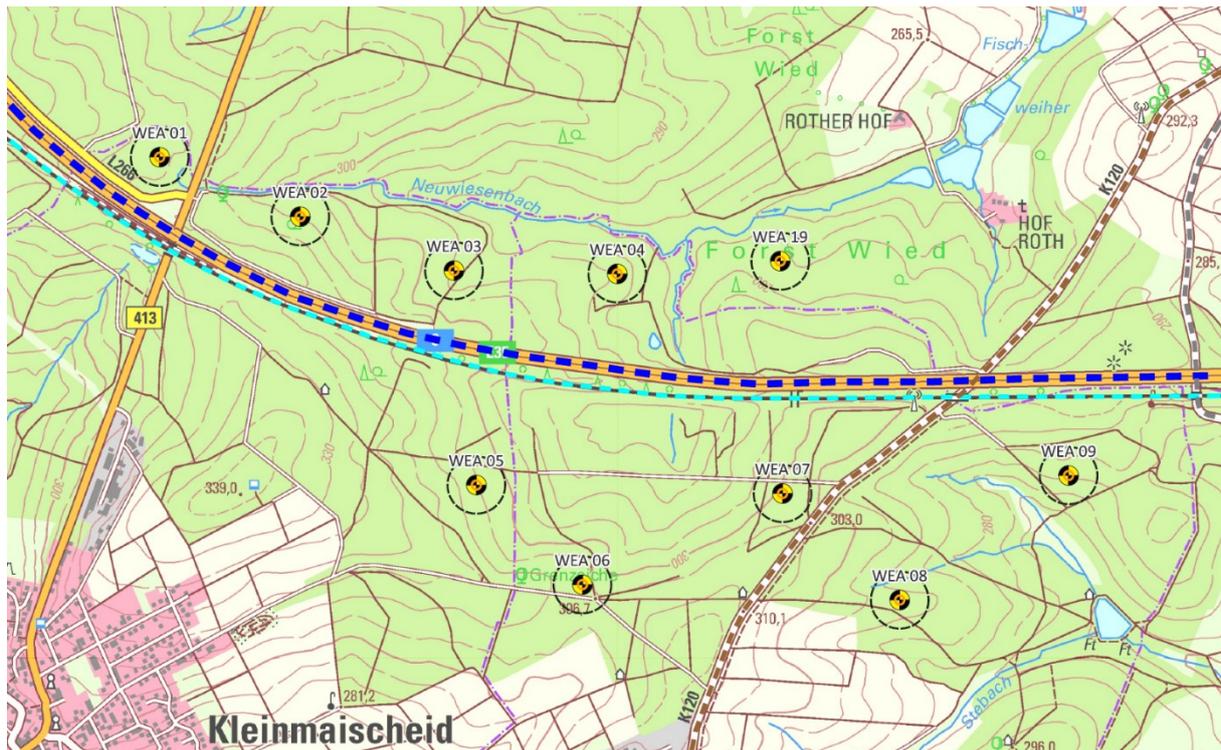


Abbildung 1: Lageplan /3/.

Das umliegende Gelände der geplanten WEA im Windpark A3 - Maischeid ist flächendeckend bewaldet. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen die folgenden Schutzobjekte:

- Autobahn A3 (siehe Abbildung 1, blau gestrichelte Linie).
- Bahntrasse, Teil der ICE-Schnellfahrstrecke zwischen Frankfurt und Köln (entlang der Autobahn A3, siehe Abbildung 1, türkis gestrichelte Linie).
- Bundesstraße B413 (siehe Abbildung 1, orangene Linie).
- Landesstraße L266 (siehe Abbildung 1, gelbe Linie).
- Kreisstraße K120 (siehe Abbildung 1, braun gestrichelte Linie).
- Kreisstraße K119 (siehe Abbildung 1, grau gestrichelte Linie).
- Wirtschaftswege, die überwiegend forstwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) /7/.

Die Angaben zum Standort wurden dem Lageplan /3/ und der Standortbeschreibung /7/ entnommen.

WEA-Nr.	Koordinaten UTM, ETRS 89, Zone 32	
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]
01	401600	5598337
02	402027	5598155
03	402494	5597990
04	402990	5597980
05	402562	5597334
06	402884	5597029
07	403492	5597308
08	403848	5596982
09	404361	5597363
19	403485	5598019

**Tabelle 1:** Koordinaten der geplanten WEA /2/.

### 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 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, ein vergleichbarer Vorfall durch vereiste WEA ist TÜV NORD derzeit nicht bekannt.

Geschlossene Fahrzeuge bieten Schutz, könnten aber beschädigt werden. Bei Fahrzeugen in Bewegung könnten im Falle eines Treffers reflexartige Reaktionen der Fahrer:innen 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 dabei 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.

Für die standortbezogene Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf und Eisabfall wird im Rahmen der Risikoanalyse das Eiserkennungssystem zur Verhinderung des Eisabwurfs dargestellt. Darauffolgend wird die Gefährdung durch Eisabfall ermittelt. Die Ergebnisse werden in der Risikobewertung (siehe Kapitel 6) unter Berücksichtigung der tatsächlichen Standortumgebung beurteilt.

### 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 /27/, /28/, /29/.

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 Windpark A3 - Maischeid ist gemäß den Eiskarten Europas /19/ und den Angaben zu den jährlichen Vereisungstagen des DWD /21/, /22/ sowie der Auswertung des Wlce Atlas für Deutschland durch das VTT Technical Research Centre /20/ im Mittel mit ca. elf 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 Gütisch“ /24/, /25/, /26/ wurden unter anderem beobachtete abgefallene bzw. abgeworfene Eisobjekte einer WEA mit einem Rotor Durchmesser von 44,0 m statistisch erfasst. So wurden in vier Jahren mind. 250 Eisobjekte beobachtet /26/. Unter Berücksichtigung der in /25/ 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%, konservativ 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 übertragen, wobei konservativ eine Zunahme der Anzahl an Eisobjekten je Vereisung proportional zu  $D^2$  angenommen wird /54/. In Tabelle 2 sind die prognostizierten abgeworfenen Eisobjekte pro Vereisung aufgeführt.

WEA-Typ	D [m]	D <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	Verhältnis	Eisobjekte/ Vereisung
ENERCON E-40/6.44	44,0	1.936	1,0	ca. 14
ENERCON E-175 EP5	175,0	30.625	15,8	ca. 222

**Tabelle 2:** 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 /49/.

Bei den geplanten WEA sollen das ENERCON-Leistungskurvenverfahren und das IDD.Blade-System eingesetzt werden /5/, /6/.

Die Erkennung des Eisansatzes beruht beim ENERCON-Leistungskurvenverfahren im Wesentlichen auf einer Überwachung der Leistungs- und Blattwinkelkennlinien /5/, /8/. Bei Eisansatz kommt es im Leistungsbetrieb durch eine Verschlechterung der Aerodynamik der Rotorblätter zu Abweichungen bestimmter Anlagenparameter (z. B. Rotor-

drehzahl, Pitchwinkel, elektrische Leistung) von den wetterabhängigen Erwartungswerten. Das Messprinzip des Leistungskurvenverfahrens basiert auf der Änderung der aerodynamischen Eigenschaften der Blattprofile durch Eisansatz, welcher sowohl die Oberflächenrauigkeit als auch die Geometrie des Blattes so verändert, dass es zu einem signifikanten Verlust an aerodynamischer Leistungsfähigkeit kommt. Diese Aussage wird gestützt durch Veröffentlichungen /30/, in welchen ein hoher Verlust an Auftrieb bereits bei leichter Vereisung messtechnisch gezeigt wird. Die daraus resultierende Leistungsabweichung zu den wetterabhängigen Erwartungswerten wird durch die Steuerung erkannt und die WEA automatisch abgeschaltet /5/, /8/. Die prinzipielle Wirksamkeit des Systems wurde durch TÜV NORD mit /8/ bestätigt.

Die Wiederinbetriebnahme der WEA nach Abschaltung durch Vereisung erfolgt jeweils erst nach einer temperaturabhängigen Wartezeit nach Ende der Vereisungsbedingungen /5/, /8/. Ein vorzeitiger manueller Neustart der WEA erfolgt erst, wenn ein Eisansatz durch Sichtkontrolle ausgeschlossen werden kann /5/.

Bzgl. des oben aufgeführten Leistungskurvenverfahrens ist anzumerken, dass dieses die WEA nicht präventiv abschalten kann, sondern erst nachdem die WEA im Betrieb leicht vereist ist. Bei Windgeschwindigkeiten unterhalb von 3,0 m/s ist die sichere Eiserkennung ausschließlich nach dem Leistungskurvenverfahren nach derzeitigem Kenntnisstand nicht mit Sicherheit gegeben /5/, /8/. Der Zustand der WEA bei Windgeschwindigkeiten unterhalb von 3 m/s ist mit dem Stillstand zu vergleichen.

Für den Fall, dass eine WEA längere Zeit stillsteht (z.B. aufgrund längerer Schwachwindperioden oder eines Defekts) und sich während dieser Zeit die Wetterbedingungen ändern, kann es zu unerkannten Vereisungen an der WEA kommen. Nach einer längeren Stillstandzeit unter Vereisungsbedingungen wird die WEA zuerst in einen Startbetrieb gefahren. Steigt die Windgeschwindigkeit während des Startbetriebs auf über 5,0 m/s, wird die WEA wieder abgeschaltet. Gemäß /8/ stellt dieser Startbetrieb gegenüber dem Eisabfall im Stillstand der WEA keine unzulässige zusätzliche Gefährdung dar.

Zusätzlich soll das Eiserkennungssystem IDD.Blade der Firma Wölfel in die geplanten WEA eingebaut werden /6/. Die Erkennung des Eisansatzes beruht bei IDD.Blade auf der Messung von Beschleunigungen und Temperatur direkt an den Rotorblättern. In jedem Rotorblatt misst ein Beschleunigungssensor die Eigenschwingungen des elastischen Rotorblattes, eine zentrale Einheit wertet die Daten der einzelnen Sensoren aus. Weichen die Messdaten von den ermittelten Referenzdaten (ermittelt über eine Lernphase am Standort) ab, so wird dies als Eisansatz interpretiert und die WEA daraufhin abgeschaltet /11/.

Die Eiserkennung ist auch bei einer abgeschalteten WEA (Trudelbetrieb) möglich. Hierbei ist zu beachten, dass die WEA zur Eiserkennung trudelt und mindestens eine Windgeschwindigkeit von ca. 3 m/s herrschen muss /12/.

Das System wurde nach DNV-SE-0439 „Zertifizierung der Zustandsüberwachung“ /9/ zertifiziert /10/. Mit /11/ wurde für die Eiserkennung mittels IDD.Blade bestätigt, dass das System dem aktuellen Stand der Technik entspricht und zur Erkennung von Eisansatz geeignet ist. Mit /12/ wurde die Integration der Eiserkennung mittels IDD.Blade in die Steuerung von ENERCON-WEA geprüft. Die Prüfung hat ergeben, dass die WEA bei Eisansatz sicher abgeschaltet werden und die Integration der Eiserkennung in die WEA-Steuerung dem aktuellen Stand der Technik entspricht /12/. Gemäß /11/ werden die behördlichen Anforderungen für eine sichere Abschaltung bei Gefahr von Eisabwurf im laufenden Betrieb als „sonstige Gefahr“ im Sinne des § 5 BImSchG erfüllt. Das vorgesehene System ist gemäß /11/ auch unter konservativen Annahmen zur Gefahrenabwehr bzgl. Eisabwurf geeignet.

Ein Wegschleudern des Eises von rotierenden Rotorblättern (Eisabwurf) ist aufgrund der geplanten Systeme zur Eiserkennung (ENERCON-Kennlinienverfahren und IDD.Blade) für den Windpark A3 - Maischeid nicht anzunehmen. Im Folgenden wird die darüber hinaus bestehende Gefährdung durch Eisabfall betrachtet.

### 3.1.3 Randbedingungen für die Untersuchung des Eisabfalls

Die Berechnung der Flugbahnen von Eisobjekten erfolgt ausschließlich für abgeschaltete WEA (Trudelnbetrieb). Die Berechnung der flächenbezogenen Trefferhäufigkeit erfolgt unter Variation (Monte-Carlo-Simulation) verschiedener Parameter /44/, /45/: Position und Größe des Eisobjekts, Stellung des Rotorblattes, Windrichtung, Windgeschwindigkeit etc. Im Rahmen der Simulation werden pro WEA zwischen 100.000 und 1.000.000 verschiedene Flugbahnen und Trefferpunkte generiert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: ENERCON E-175 EP5 mit 162,0 m NH und 175,0 m D.
- Drehzahl bei Eisabfall: entspricht dem Trudelnbetrieb. In Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird die entsprechende Drehzahl bestimmt (Drehzahlbereich Trudeln 0 – 2,0 U/min) und bei der Ermittlung der Anfangsgeschwindigkeit des Eisobjekts berücksichtigt.
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ 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  $0^\circ\text{C}$  Lufttemperatur).
- Eisobjekt: Idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe.
- Lageparameter des Eisobjekts:  
Diskrete Verteilungsfunktion, welche auf Basis von Erfahrungswerten zur Eisbildung auf dem Rotorblatt bestimmt wird. Gemäß /23/ 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°, 360°) gleichverteilt.

- Für die Simulation des Eisabfalls wurde auf Basis eines digitalen Geländemodells /13/ die Topografie des Standortes berücksichtigt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden von der anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH abgeschätzt und vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /4/. Diese 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 wenig belastbare Angaben. Die zur Verfügung stehenden Angaben deuten darauf hin, dass die Mehrzahl der Eisobjekte relativ klein ist (bis ca. 2 kg) und die Eisobjekte selten ein Gewicht von mehreren Kilogramm aufweisen /18/, /19/, /24/. Zudem hat sich in Feldstudien /24/ 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, setzt TÜV NORD für die Berechnungen idealisierte Eisobjekte mit unterschiedlicher Form und Größe an. Die Gewichte der Eisobjekte hat TÜV NORD unter Berücksichtigung der Kenntnisse aus /24/ auf 1,0 kg normiert. Die Eigenschaften der zugrunde gelegten Eisobjekte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Nr.	Masse [kg]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Form	mittlere Fläche [m <sup>2</sup> ]	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 3:** Idealisierte Eisobjekte.

### 3.1.4 Trefferhäufigkeiten

Für die Häufigkeit von Eisabfall-Ereignissen wird gemäß Kapitel 3.1.1 ein Wert von 2.442 Eisabfall-Ereignissen pro WEA und Jahr angesetzt (11 Vereisungstage pro Jahr mit je 222 Eisabfall-Ereignissen). In Abbildung 2 sind die Auftreffpunkte von 100.000 bis 1.000.000 verschiedenen Eisabfall-Ereignissen von den WEA dargestellt.

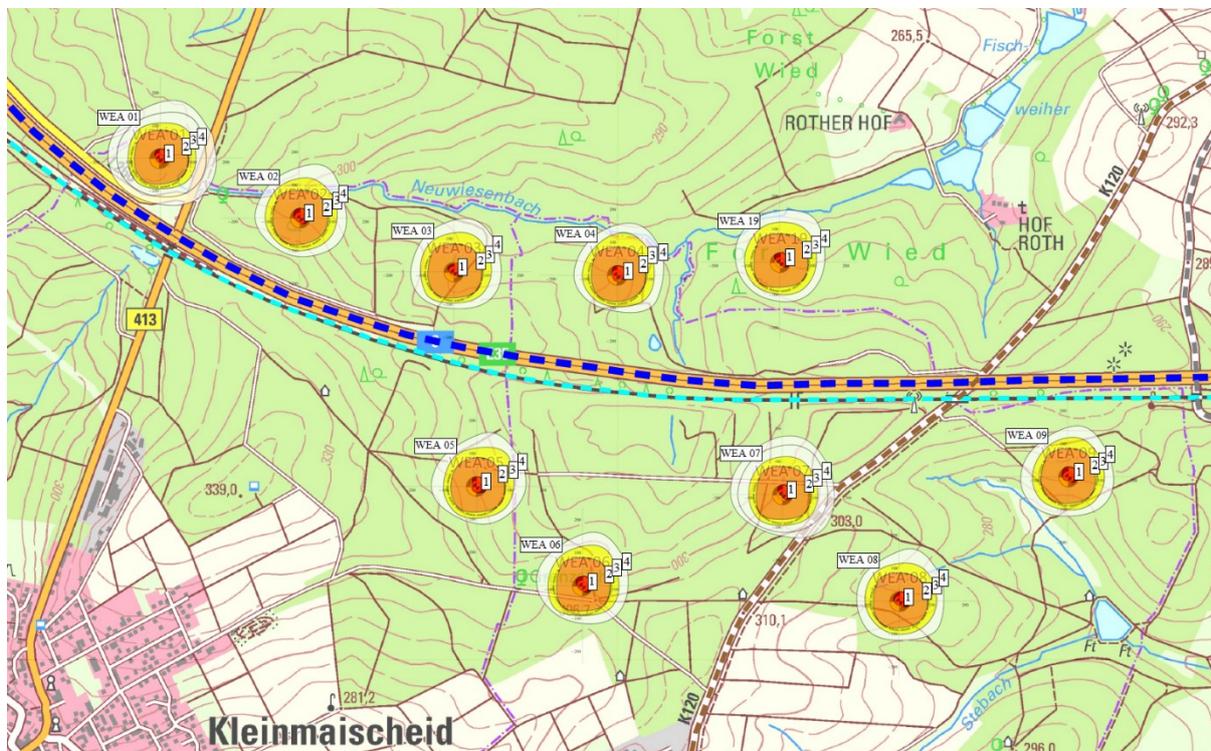


**Abbildung 2:** Auftreffpunkte bei Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

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

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



**Abbildung 3:** Trefferhäufigkeiten [ $1/m^2$ ] pro Eisabfall. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls in Abbildung 3 zeigen, dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA 01 Abschnitte der Bundesstraße B413 und der Landesstraße L266 überdecken sowie dass Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall der WEA 07 Abschnitte der Kreisstraße K120 überdecken (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.1.5 und 3.1.6).

Darüber hinaus ist in der Abbildung 3 zu erkennen, dass die Autobahn A3, die Bahntrasse und die Kreisstraße K119 außerhalb der durch Eisabfall direkt gefährdeten Bereiche liegen.

Des Weiteren liegen Abschnitte der umliegenden Wirtschaftswege innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche. Für die hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /7/ wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Eisabfall innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

### 3.1.5 Individualrisiko im Straßenverkehr

Auf Basis der standortbezogenen Simulation des Eisabfalls wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund Eisabfalls von den geplanten WEA zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf den betroffenen Straßen konservativ eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höher angesetzten Geschwindigkeit 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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der verkehrsteilnehmenden Person  $v_F$ , Länge des betroffenen Straßenabschnitts  $l_j$ ),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 5 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr (Individualrisiko). Für die Risikobewertung wird konservativ angenommen, dass ein Treffer der Windschutzscheibe unabhängig von der Eisobjektgröße einen schweren oder tödlichen Unfall zur Folge hat.

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
01	Bundesstraße B413	1,1E-07
01	Landestraße L266	3,2E-08
07	Kreisstraße K120	9,0E-08

**Tabelle 5:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko bei Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 1,1E-07 Treffer/a im Mittel ca. alle 9,1 Mio. Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

Es ist zu beachten, dass der Kreuzungsbereich zwischen der Bundesstraße B413 und der Landesstraße L266 innerhalb des fünften Gefährdungsbereichs durch Eisabfall von der geplanten WEA 01 liegt. Im Kreuzungsbereich ist aufgrund der geringeren Geschwindigkeit (bis hin zum kompletten Stillstand) mit erheblich längeren Aufenthalten im Gefährdungsbereich und daraus resultierend mit einer erhöhten Trefferwahrscheinlichkeit eines Fahrzeugs (Sachschäden) zu rechnen. Daraus folgt jedoch nicht direkt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für einen schweren Personenschaden da die Fahrzeuge Schutz vor herabfallenden Eisobjekten bieten. Ein Eisobjekt, welches die Windschutzscheibe durchschlägt und eine schwere Verletzung verursacht ist sehr unwahrscheinlich. Ebenso ist ein Verreißen des Lenkrads aufgrund eines auf die Windschutzscheibe aufprallenden Eisobjekts und ein daraus folgender schwerer Verkehrsunfall bei geringen Geschwindigkeiten nicht anzunehmen.

### 3.1.6 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.1.5), zusätzlich die Verkehrsdichte auf den betroffenen Straßen 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<sup>2</sup> im Bereich j pro Eisabfall (Ergebnis der Simulation).

$h_{aVT}$ : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte werden auf Basis der Angaben aus /14/ die folgenden Verkehrsdichten angesetzt

- Bundesstraße B413: 2.552 Kfz/Tag.
  - Landesstraße L266: 2.475 Kfz/Tag.
  - Kreisstraße K120: 1.331 Kfz/Tag.
- $A_T$ : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (für einen lebensbedrohlichen Fahrzeugtreffer wird als Trefferfläche die Fläche der Windschutzscheibe mit 2 m<sup>2</sup> angesetzt).
- $P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der Fahrzeuge  $v_F$ , Länge des betroffenen Straßenabschnitts  $l_j$ ),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich für die Gefährdung des Straßenverkehrs auf den betroffenen Straßen die in Tabelle 6 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter Streckenabschnitt. Für die Bewertung (siehe Kapitel 6) wird konservativ angenommen, dass ein Treffer der Windschutzscheibe unabhängig von der Eisobjektgröße einen schweren oder tödlichen Unfall zur Folge hat.

WEA	Bereich	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(m*a)]
01	Bundesstraße B413	9,4E-07
01	Landesstraße L266	2,3E-07
07	Kreisstraße K120	4,4E-07

**Tabelle 6:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Eisabfall.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von 9,4E-07 Treffer/(m\*a) im Mittel ca. alle 1,1 Mio. Jahre pro Meter Streckenabschnitt ein schwerer Unfall durch Eisabfall. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

Es ist zu beachten, dass der Kreuzungsbereich zwischen der Bundesstraße B413 und der Landesstraße L266 innerhalb des fünften Gefährdungsbereichs durch Eisabfall von der geplanten WEA 01 liegt. Im Kreuzungsbereich ist aufgrund der geringeren Geschwindigkeit (bis hin zum kompletten Stillstand) mit erheblich längeren Aufenthalten im Gefährdungsbereich und daraus resultierend mit einer erhöhten Trefferwahrscheinlichkeit eines Fahrzeugs (Sachschäden) zu rechnen. Daraus folgt jedoch nicht direkt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für einen schweren Personenschaden da die Fahrzeuge Schutz vor herabfallenden Eisobjekten bieten. Ein Eisobjekt, welches die Windschutzscheibe durchschlägt und eine schwere Verletzung verursacht ist sehr unwahrscheinlich. Ebenso ist ein Verreißen des Lenkrads aufgrund eines auf die Windschutzscheibe aufprallenden Eisobjekts und ein daraus folgender schwerer Verkehrsunfall bei geringen Geschwindigkeiten nicht anzunehmen.

## 3.2 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 Verkehrsteilnehmer:innen im Trefferbereich eine Gefahr dar.

### 3.2.1 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 /31/, /32/ 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 /31/ unter Berücksichtigung einer geschätzten Anzahl von nicht bekannten Ereignissen in gleicher Größenordnung sowie einer Auswertung aus den Niederlanden /32/. 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 /33/ entnommen werden.

### 3.2.2 Randbedingungen für die Untersuchungen des Rotorblattbruchs

Die Berechnungen der Flugbahnen von Rotorblattbruchstücken erfolgen unter Variation der verschiedenen Parameter wie Bruchlage, Abwurfwinkel, Windrichtung und Windstärke /45/. Es werden somit 100.000 verschiedene Flugbahnen pro WEA simuliert.

Für die Simulationen werden folgende Annahmen getroffen:

- WEA-Typ: ENERCON E-175 EP5 mit 162,0 m NH und 175,0 m D.
- Drehzahl bei Rotorblattbruch:  $8,8 \text{ U/min} \cdot 120\% = 10,6 \text{ U/min}$  (Überdrehzahl).
- Für die Verteilung der Windrichtung wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ verwendet.
- Für die Verteilung der Windgeschwindigkeit wurden die meteorologischen Daten des Standortes /4/ 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, der Bruch verbraucht keine Energie.
- Trümmerbrüche, die ein Feld von kleineren Trümmerteilen erzeugen, werden nicht betrachtet.
- Die Abwurfposition (in Rotorblattebene) ist gleichverteilt.
- Für die geplanten WEA wurde auf Basis des digitalen Geländemodells /13/ die jeweils maximale Überhöhung gegenüber den Schutzobjekten ermittelt und konservativ für die gesamte betroffene Strecke zugrunde gelegt.

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden von der anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH abgeschätzt und vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /4/. Diese werden als repräsentativ und richtig für den Standort vorausgesetzt und wurden nicht durch TÜV NORD geprüft.

### 3.2.3 Trefferhäufigkeiten

In Abbildung 4 sind die Auftreffpunkte von 100.000 verschiedenen Rotorblattbruch-Ereignissen pro WEA dargestellt.



**Abbildung 4:** Auftreffpunkte bei Rotorblattbruch. Rotorblattradius schwarz gestrichelt.

In Abbildung 5 sind die Größenordnungen der Trefferhäufigkeiten pro m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> sind in der Tabelle 7 beschrieben.

Zone	Farbe	Trefferhäufigkeiten [1/m <sup>2</sup> ]	Trefferhäufigkeiten [1/(a m <sup>2</sup> )]
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 7:** Wahrscheinlichkeitszonen und mittlere Trefferhäufigkeiten (Rotorblattbruch).  
\*alles außerhalb der Zone 4.



**Abbildung 5:** Trefferhäufigkeiten [1/m<sup>2</sup>] bei Rotorblattbruch. Rotorblatradius schwarz gestrichelt.

Die Ergebnisse der standortbezogenen Simulation des Rotorblattbruchs in Abbildung 5 zeigen, dass

- Abschnitte der Autobahn A3, der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 durch Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche der geplanten WEA überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.2.4 und 3.2.5).
- Abschnitte der Bahntrasse durch Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche der geplanten WEA überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.2.6 und 3.2.7).
- die Kreisstraße K119 außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche liegt.
- Abschnitte der umliegenden Wirtschaftswege innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche liegen. Für die hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /7/ wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Rotorblattbruch innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

### 3.2.4 Individualrisiko im Straßenverkehr

Auf Basis der in Abbildung 5 dargestellten Trefferhäufigkeiten wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund eines Rotorblattbruchs der geplanten WEA zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A3, der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Autobahn A3 konservativ eine Geschwindigkeit von 80 km/h und auf den übrigen Straßen eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höher angesetzten Geschwindigkeit 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 3.2.1).

$h_{TRj}$ : Häufigkeit der Treffer pro m<sup>2</sup> im Bereich j pro Rotorblattbruch (Ergebnis der Simulation).

$A_T$ : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs (10 m<sup>2</sup>).

$P_{RA}$ : 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 5),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

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

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 8 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr (Individualrisiko).

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
01	Autobahn A00	1,4E-11
02		5,1E-12
03		6,0E-12
09		9,5E-15
Gesamt		2,5E-11
01	Bundesstraße B413	4,0E-11
01	Landesstraße L266	2,7E-11
07	Kreisstraße K120	3,7E-11

**Tabelle 8:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Straßenverkehr bei Rotorblattbruch.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 4,0E-11 Treffer/a im Mittel ca. alle 25 Mrd. Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Rotorblattbruch. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.2.5 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch Rotorblattbruch wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.2.4), zusätzlich die Verkehrsdichte auf den betroffenen Straßen 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 3.2.1).
- $h_{TRj}$ : Häufigkeit der Treffer pro  $m^2$  im Bereich j pro Rotorblattbruch (Ergebnis der Simulation).
- $h_{aVT}$ : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte werden auf Basis der Angaben aus /7/ und /14/ die folgenden Verkehrsdichten angesetzt:
  - Autobahn A3: 66.744 Kfz/Tag.
  - Bundesstraße B413: 2.552 Kfz/Tag.
  - Landesstraße L266: 2.475 Kfz/Tag.
  - Kreisstraße K120: 1.331 Kfz/Tag.
- $A_T$ : Zu berücksichtigende Trefferfläche des Fahrzeugs ( $10 m^2$ ).
- $P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während eines Aufenthalts im Bereich j eintritt (Geschwindigkeit der Fahrzeuge  $v_F$ , Länge des Straßenabschnitts  $l_j$  aus Abbildung 5),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .
- $k_T$ : Korrekturfaktor, der berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt einen, im Vergleich zur Trefferfläche, größeren Schaden verursacht.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 9 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter Streckenabschnitt (Gefährdung des Straßenverkehrs).

WEA	Bereich	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(m*a)]
01	Autobahn A3	1,5E-09
02		8,6E-10
03		8,2E-10
09		2,6E-12
01	Bundesstraße B413	1,8E-10
01	Landesstraße L266	1,2E-10
07	Kreisstraße K120	8,1E-11

**Tabelle 9:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Rotorblattbruch.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von  $1,5E-09$  Treffer/(m\*a) im Mittel ca. alle 666,7 Mio. Jahre pro Meter Streckenabschnitt ein schwerer Unfall durch Rotorblattbruch. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.2.6 Individualrisiko im Bahnverkehr

Auf Basis der in Abbildung 4 dargestellten Trefferpunkte der Bahntrasse wird das Risiko für Personen, während einer Zugfahrt durch Rotorblattbruch der geplanten WEA zu verunglücken, ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der ICE-Schnellfahrstrecke wird konservativ eine Geschwindigkeit von 150 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höher angesetzten Geschwindigkeit erhöht wird.

Für die Ermittlung der Gefährdung des Bahnverkehrs durch Rotorblattbruch ist zu beachten, dass der Bahnverkehr sowohl von direkten Treffern als auch von größeren Trümmerteilen auf den Bahngleisen gefährdet werden kann. Ein Rotorblatt kann bezüglich des Gefährdungspotenzials prinzipiell mit einem Baum, welcher auf den Schienen liegt, verglichen werden. Ein herannahender Zug kann aufgrund der niedrigen Höhe darauf auffahren und entgleisen. Der Bremsweg eines Zuges beträgt nach auslösen der Bremsung geschwindigkeitsabhängig mehrere hundert Meter bis Kilometer. Gemäß der Einschätzung von Experten der TÜV NORD Bahntechnik kann nicht immer davon ausgegangen werden, dass ein Treffer der Bahnstrecke automatisch erkannt wird und der Zugverkehr stoppt. Aus den genannten Gründen kann ein Unfall infolge eines im Gleisbett liegenden Trümmerteils nicht ausgeschlossen werden und muss im Rahmen der Risikobeurteilung betrachtet werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht jeder Treffer der Bahntrasse zu einem Schadensereignis mit Personenschaden führen wird:

- Ein Treffer der Bahntrasse könnte die Oberleitung beschädigen, je nach Lage der Einspeisepunkte kann dies zu einer Unterbrechung der Stromversorgung für einen herannahenden Zug führen.
- Ein Trümmerteil auf der Bahntrasse kann durch den Zugführer rechtzeitig gesichtet werden, sodass der Zug mit einer Notbremsung vor einem Zusammenstoß zum Halten kommt.
- Der Zusammenstoß eines Zuges mit einem Trümmerteil auf der Bahntrasse wird nicht in jedem Fall zu einem Entgleisen des Zuges und einem Schadensereignis mit Personenschaden führen.

Im Folgenden werden zwei Szenarien betrachtet:

- Szenario 1 (Gleistreffer): Ein Treffer der Bahntrasse hat einen Unfall mit schweren Personenschäden zur Folge, wenn der Zug nicht rechtzeitig stoppt und entgleist. Für die Risikoermittlung wird aufgrund der hohen Zuggeschwindigkeit und des langen Bremsweges angenommen, dass jedes ins Gleisbett fallende Bruchstück zu einem Zusammenstoß mit einem Zug führt. Darüber hinaus wird auf Basis der Jahresberichte der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung /36/ angenommen, dass es in 10% der Zusammenstöße zu einem Entgleisen des Zuges mit schweren Personenschäden kommt.
- Szenario 2 (direkter Zugtreffer): Nur die direkten Treffer eines fahrenden Zuges führen zu einem Unfall.

Für die Ermittlung des Individualrisikos werden zusätzlich zu den ermittelten Trefferhäufigkeiten die Wahrscheinlichkeit, in einem betroffenen Zug zu sitzen und die in Kapitel 4.3 hergeleitete Wahrscheinlichkeit, bei einem Zugunglück tödlich zu verunglücken, berücksichtigt.

Für das Individualrisiko ergibt sich im ersten Szenario der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{RJ} \cdot h_{TRj} \cdot P_{RE} \cdot P_{RA} \cdot n_D \cdot P_M,$$

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

$H_{Tj}$ : 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 3.2.1).

$h_{TRj}$ : Trefferhäufigkeit der Bahnstrecke: Diese ergibt sich aus den ermittelten Treffern der Bahnstrecke (siehe Abbildung 4) geteilt durch die Anzahl der Simulationsläufe. Zusätzlich wurde die Trefferwahrscheinlichkeit der einzelnen Treffer geometrisch auf Basis des Abstandes zur Bahnstrecke ermittelt.

$P_{RE}$ : Wahrscheinlichkeit, dass die Kollision mit dem Bruchstück zu einem Entgleisen mit schweren Personenschäden führt,  $P_{RE} = 0,1$ .

$P_{RA}$ : 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 auf der Strecke unterwegs ist.

$n_D$ : 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 Strecke zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).

$P_M$ : Wahrscheinlichkeit, bei einem Zugunglück tödlich zu verunglücken,  $P_M = 0,35$  (siehe Kapitel 4.3).

Für das Individualrisiko ergibt sich im zweiten Szenario der folgende mathematische Zusammenhang:

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

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

$H_{Tj}$ : 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 3.2.1).

- $h_{TRj}$ : Trefferhäufigkeit der Bahnstrecke: Diese ergibt sich aus den ermittelten Treffern der Bahnstrecke (siehe Abbildung 4) geteilt durch die Anzahl der Simulationsläufe. Zusätzlich wurde die Trefferwahrscheinlichkeit der einzelnen Treffer geometrisch auf Basis des Abstandes zur Bahnstrecke ermittelt.
- $P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während des Aufenthalts eines Zuges im gefährdeten Bereich eintritt (Geschwindigkeit des Zuges  $v_F$ , Länge des gefährdeten Streckenabschnittes  $l_j$  aus Abbildung 4),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .
- $P_{RA}$ : 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 auf der Strecke unterwegs ist.
- $n_D$ : 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 Strecke zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).
- $P_M$ : Wahrscheinlichkeit, bei einem Zugunglück tödlich zu verunglücken,  $P_M = 0,35$  (siehe Kapitel 4.3).

Mit den oben beschriebenen Zusammenhängen ergeben sich die in Tabelle 10 dargestellten Trefferhäufigkeiten.

WEA	Szenario	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]
01	Szenario 1 (Gleistreffer)	8,7E-08
02		1,1E-09
03		1,7E-09
07		1,9E-09
09		1,1E-07
Gesamt		2,0E-07
01	Szenario 2 (Direkter Zugtreffer)	1,8E-08
02		1,5E-10
03		2,5E-10
07		2,8E-10
09		2,2E-08
Gesamt		4,1E-08

**Tabelle 10:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Bahnverkehr bei Rotorblattbruch.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 2,0E-07 Treffer/a (Szenario 1) im Mittel ca. alle 5,0 Mio. Jahre ein schwerer Unfall durch Rotorblattbruch. Eine

Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.2.7 Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko)

Für das erste Szenario ergibt sich für die Gefährdung des Bahnverkehrs der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{RJ} \cdot h_{TRj} \cdot P_{RE},$$

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

$H_{Tj}$ : 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 3.2.1).

$h_{TRj}$ : Trefferhäufigkeit der Bahnstrecke: Diese ergibt sich aus den ermittelten Treffern der Bahnstrecke (siehe Abbildung 4) geteilt durch die Anzahl der Simulationsläufe. Zusätzlich wurde die Trefferwahrscheinlichkeit der einzelnen Treffer geometrisch auf Basis des Abstandes zur Bahnstrecke ermittelt.

$P_{RE}$ : Wahrscheinlichkeit, dass die Kollision mit dem Bruchstück zu einem Entgleisen mit schweren Personenschäden führt,  $P_{RE} = 0,1$ .

Für das zweite Szenario ergibt sich für die Gefährdung des Bahnverkehrs der folgende mathematische Zusammenhang:

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

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

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

$H_T$ : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

$h_{RJ}$ : Häufigkeit Rotorblattbruch pro WEA und Jahr,  $h_{RJ} = 5,0E-04/a$   
(Kapitel 3.2.1).

$h_{TRj}$ : Trefferhäufigkeit der Bahnstrecke: Diese ergibt sich aus den ermittelten Treffern der Bahnstrecke (siehe Abbildung 4) geteilt durch die Anzahl der Simulationsläufe. Zusätzlich wurde die Trefferwahrscheinlichkeit der einzelnen Treffer geometrisch auf Basis des Abstandes zur Bahnstrecke ermittelt.

$h_{aVT}$ : Verkehrsdichte (Bahnverkehr): Für die Verkehrsdichte von Personenzügen werden auf Basis von /15/ und /16/ 104 Züge pro Tag angenommen.

$P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während des Aufenthalts eines Zuges im gefährdeten Bereich eintritt (Geschwindigkeit des Zuges  $v_F$ ,

Länge des gefährdeten Streckenabschnittes  $l_j$  aus Abbildung 4),  
 $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit den oben beschriebenen Zusammenhängen ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten Trefferhäufigkeiten.

WEA	Szenario	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]
01	Szenario 1 (Gleistreffer)	2,0E-07
02		2,5E-09
03		4,0E-09
07		4,5E-09
09		2,6E-07
Gesamt		4,7E-07
01	Szenario 2 (Direkter Zugtreffer)	4,2E-08
02		3,5E-10
03		5,7E-10
07		6,5E-10
09		5,0E-08
Gesamt		9,4E-08

**Tabelle 11:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Gefährdung des Bahnverkehrs bei Rotorblattbruch.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Bahnverkehrs von 4,7E-07 Treffer/a (Szenario 1) im Mittel ca. alle 2,1 Mio. Jahre ein schwerer Unfall durch Rotorblattbruch. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.3 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.

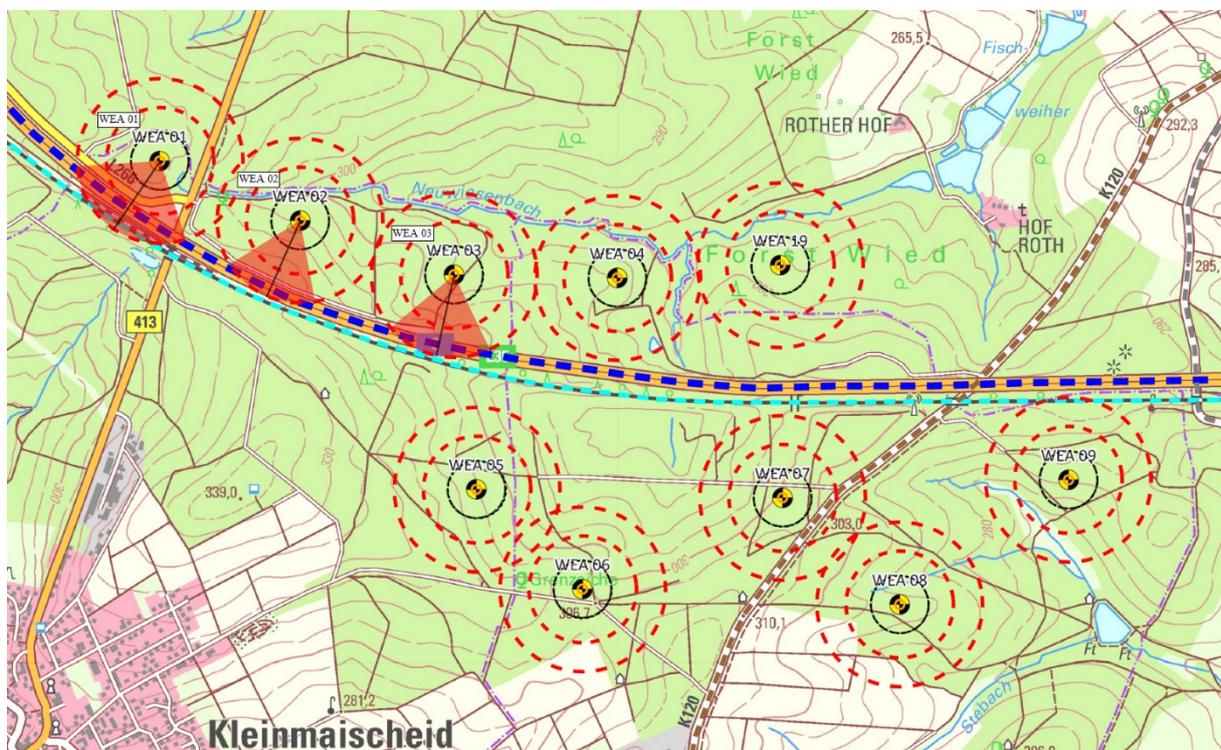
Trümmerobjekte durch Turmversagen (inkl. Fundamentversagen, Gondelabsturz), die aus großer Höhe herabstürzen, stellen für Verkehrsteilnehmer:innen im Trefferbereich eine ernste Gefahr dar. Ein Turmversagen kann z. B. bei Versagen des Bremssystems /34/ oder Materialermüdung /35/ auftreten.

### 3.3.1 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 /31/, /32/ 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 /31/ und einer Auswertung aus den Niederlanden /32/. 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 /33/ entnommen werden.

### 3.3.2 Gefährdungsbereiche

In Abbildung 6 sind die maximalen Gefährdungsradien bei Turmversagen (innen – Gondel, außen – Gesamthöhe) sowie die daraus resultierenden Gefährdungsbereiche (rot) exemplarisch für die Autobahn A3 dargestellt.



**Abbildung 6:** Gefährdungsbereiche der Autobahn A3 (rot) bei Turmversagen (schwarzer Balken). Gefährdungsradien (rot gestrichelt): innen – Gondel, außen – Gesamthöhe.

Es zeigt sich, dass

- Abschnitte der Bahntrasse durch Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche der geplanten WEA überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.3.5 und 3.3.6). Es zeigt sich, dass bei einem möglichen Turmversagen der Turm inkl. Gondel nicht auf die Bahntrasse fallen könnte, sie ist hierbei nur durch einen möglichen Treffer der Rotorblätter betroffen.
- Abschnitte der Autobahn A3, der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 durch Teile der ermittelten Gefährdungsbereiche der geplanten WEA überdeckt werden (siehe weitere Risikoanalyse in Kapitel 3.3.3 und 3.3.4). Bei einem möglichen Turmversagen der WEA 02 und WEA 03 ist die Autobahn A3 dabei nur durch einen möglichen Treffer der Rotorblätter betroffen, bei einem möglichen Turmversagen der WEA 01 könnte im ungünstigsten Fall auch die Gondel die Autobahn A3 treffen.
- die Kreisstraße K119 außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche liegt.
- Abschnitte der umliegenden Wirtschaftswege innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche liegen. Für die hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege /7/ wird die Nutzungshäufigkeit sowie die mögliche Gefährdung durch Turmversagen innerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche qualitativ berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

### 3.3.3 Individualrisiko im Straßenverkehr

Auf Basis der in Abbildung 6 dargestellten Gefährdungsbereiche wird das Risiko, im Straßenverkehr aufgrund eines Turmversagens der geplanten WEA zu verunfallen, für Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A3, der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit wird auf der Autobahn A3 konservativ eine Geschwindigkeit von 80 km/h und auf den übrigen Straßen eine Geschwindigkeit von 50 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höher angesetzten Geschwindigkeit 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 3.3.1).

$P_{TA}$ : 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 das Schutzobjekt trifft / in Richtung Schutzobjekt fällt (siehe Abbildung 6). 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 6),  $P_{Atj} = (l_j/v_F)/24h$ .
- $k_T$ : Korrekturfaktor, der berücksichtigt, dass ein Bruchobjekt im Vergleich zu seiner Trefferfläche einen größeren Schaden verursacht.

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 12 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr (Individualrisiko).

WEA	Bereich	Individualrisiko [Treffer/a]
01	Autobahn A3	1,7E-10
02		5,1E-11
03		6,8E-11
Gesamt		2,9E-10
01	Bundesstraße B413	4,7E-10
01	Landesstraße L266	5,6E-10
07	Kreisstraße K120	4,4E-10

**Tabelle 12:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Straßenverkehr bei Turmversagen.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 5,6E-10 Treffer/a im Mittel ca. alle 1,8 Mrd. Jahre ein lebensbedrohlicher Treffer durch Turmversagen. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.3.4 Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)

Für die Ermittlung der Gefährdung des Straßenverkehrs durch Turmversagen wird, aufbauend auf den Randbedingungen für die Ermittlung des Individualrisikos (siehe Kapitel 3.3.3), zusätzlich die Verkehrsdichte auf den betroffenen Straßen 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 3.3.1).

$h_{avT}$ : Verkehrsdichte: Für die Verkehrsdichte werden auf Basis der Angaben aus /7/ und /14/ die folgenden Verkehrsdichten angesetzt:

- Autobahn A3: 66.744 Kfz/Tag.
- Bundesstraße B413: 2.552 Kfz/Tag.
- Landesstraße L266: 2.475 Kfz/Tag.
- Kreisstraße K120: 1.331 Kfz/Tag.

$P_{Sj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass der Turm das Schutzobjekt trifft / in Richtung Schutzobjekt fällt (siehe Abbildung 6). 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 6),  $P_{Atj} = (l_j/v_F)/24h$ .

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

Mit dem oben beschriebenen Zusammenhang ergeben sich die in Tabelle 13 aufgeführten Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter Streckenabschnitt (Gefährdung des Straßenverkehrs).

WEA	Bereich	Gefährdung des Straßenverkehrs [Treffer/(m*a)]
01	Autobahn A3	2,3E-08
02		9,9E-09
03		1,2E-08
01	Bundesstraße B413	2,2E-09
01	Landesstraße L266	2,9E-09
07	Kreisstraße K120	1,1E-09

**Tabelle 13:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr und Meter, Gefährdung des Straßenverkehrs bei Turmversagen.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Straßenverkehrs von  $2,3E-08$  Treffer/(m\*a) im Mittel ca. alle 43,5 Mio. Jahre pro Meter Streckenabschnitt ein schwerer Unfall durch Turmversagen. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.3.5 Individualrisiko im Bahnverkehr

Auf Basis der in Abbildung 6 dargestellten Trefferbereiche der Bahntrasse wird das Risiko für Personen, während einer Zugfahrt durch Turmversagen der geplanten WEA zu verunglücken, ermittelt. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der Bahntrasse wird konservativ eine Geschwindigkeit von 150 km/h angesetzt. Diese Annahme ist insofern konservativ, als dass die Expositionsdauer im Gefährdungsbereich gegenüber einer höher angesetzten Geschwindigkeit erhöht wird.

Für die Ermittlung der Gefährdung des Bahnverkehrs durch Turmversagen gilt das gleiche wie für die Gefährdung durch Rotorblattbruch (siehe Kapitel 3.2.6), es werden daher analog zum Rotorblattbruch zwei Szenarien für die Ermittlung der Gefährdung des Bahnverkehrs durch Turmversagen betrachtet:

- Szenario 1 (Gleistreffer): Ein Treffer der Bahntrasse hat einen Unfall mit schweren Personenschäden zur Folge, wenn der Zug nicht rechtzeitig stoppt und entgleist. Für die Risikoermittlung wird aufgrund der hohen Zuggeschwindigkeit und des langen Bremsweges angenommen, dass jedes ins Gleisbett fallende Bruchstück zu einem Zusammenstoß mit einem Zug führt. Darüber hinaus wird auf Basis der Jahresberichte der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung /36/ angenommen, dass es in 10% der Zusammenstöße zu einem Entgleisen des Zuges mit schweren Personenschäden kommt.
- Szenario 2 (direkter Zugtreffer): Nur die direkten Treffer eines fahrenden Zuges führen zu einem Unfall.

Für das Individualrisiko ergibt sich im ersten Szenario der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Tj} \cdot P_{Sj} \cdot P_{TE} \cdot P_{TA} \cdot n_D \cdot P_M,$$

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

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

$H_T$ : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

$h_{Tj}$ : Häufigkeit Turmversagen pro WEA und Jahr,  $h_{RJ} = 5,0E-05/a$  (Kapitel 3.3.1).

$P_{Sj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass Teile der WEA die Bahntrasse treffen (siehe Abbildung 6). Hierbei wird auch berücksichtigt, dass der Turm in beliebiger Höhe gleichverteilt brechen kann.

$P_{TE}$ : Wahrscheinlichkeit, dass die Kollision mit dem Bruchstück zu einem Entgleisen mit schweren Personenschäden führt,  $P_{TE} = 0,1$ .

- $P_{TA}$ : 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 auf der Strecke unterwegs ist.
- $n_D$ : 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 Strecke zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).
- $P_M$ : Wahrscheinlichkeit, bei einem Zugunglück tödlich zu verunglücken,  $P_M = 0,35$  (siehe Kapitel 4.3).

Im zweiten Szenario ergibt sich für das Individualrisiko der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Tj} \cdot P_{Sj} \cdot P_{Aj} \cdot P_{TA} \cdot n_D \cdot P_M,$$

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

- $H_{Tj}$ : Anzahl gefährlicher Treffer im Bereich j pro Jahr (Ergebnis der Simulation).
- $H_T$ : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.
- $h_{Tj}$ : Häufigkeit Turmversagen pro WEA und Jahr,  $h_{RJ} = 5,0E-05/a$  (Kapitel 3.3.1).
- $P_{Sj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass Teile der WEA die Bahntrasse treffen (siehe Abbildung 6). Hierbei wird auch berücksichtigt, dass der Turm in beliebiger Höhe gleichverteilt brechen kann.
- $P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während des Aufenthalts eines Zuges im gefährdeten Bereich eintritt (Geschwindigkeit des Zuges  $v_F$ , Länge des gefährdeten Streckenabschnittes  $l_j$  aus Abbildung 6),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .
- $P_{TA}$ : 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 auf der Strecke unterwegs ist.
- $n_D$ : 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 Strecke zweimal pro Tag passiert (Hin- und Rückweg).
- $P_M$ : Wahrscheinlichkeit, bei einem Zugunglück tödlich zu verunglücken,  $P_M = 0,35$  (siehe Kapitel 4.3).

Mit den oben beschriebenen Zusammenhängen ergeben sich die in Tabelle 14 dargestellten Trefferhäufigkeiten.

WEA	Szenario	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]
01	Szenario 1 (Gleistreffer)	3,5E-08
09		6,5E-09
Gesamt		4,2E-08
01	Szenario 2 (Direkter Zugtreffer)	5,8E-09
09		8,8E-10
Gesamt		6,7E-09

**Tabelle 14:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Individualrisiko im Bahnverkehr bei Turmversagen.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einem Individualrisiko von 4,2E-08 Treffer/a (Szenario 1) im Mittel ca. alle 23,8 Mio. Jahre ein schwerer Unfall durch Turmversagen. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

### 3.3.6 Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko)

Für das erste Szenario ergibt sich für die Gefährdung des Bahnverkehrs der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Tj} \cdot P_{Sj} \cdot P_{TE},$$

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

$H_{Tj}$ : 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 3.3.1).

$P_{Sj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass Teile der WEA die Bahntrasse treffen (siehe Abbildung 6). Hierbei wird auch berücksichtigt, dass der Turm in beliebiger Höhe gleichverteilt brechen kann.

$P_{TE}$ : Wahrscheinlichkeit, dass die Kollision mit dem Bruchstück zu einem Entgleisen mit schweren Personenschäden führt,  $P_{TE} = 0,1$ .

Für das zweite Szenario ergibt sich für die Gefährdung des Bahnverkehrs der folgende mathematische Zusammenhang:

$$H_{Tj} = h_{Tj} \cdot P_{Sj} \cdot h_{avT} \cdot P_{Aj},$$

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

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

$H_T$ : Anzahl gefährlicher Treffer pro Jahr.

- $H_{TJ}$ : Häufigkeit Turmversagen pro WEA und Jahr,  $h_{RJ} = 5,0E-05/a$  (Kapitel 3.3.1).
- $P_{Sj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass Teile der WEA die Bahntrasse treffen (siehe Abbildung 6). Hierbei wird auch berücksichtigt, dass der Turm in beliebiger Höhe gleichverteilt brechen kann.
- $h_{aVT}$ : Verkehrsdichte (Bahnverkehr): Für die Verkehrsdichte von Personenzügen werden auf Basis von /15/ und /16/ 104 Züge pro Tag angenommen.
- $P_{Aj}$ : Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis während des Aufenthalts eines Zuges im gefährdeten Bereich eintritt (Geschwindigkeit des Zuges  $v_F$ , Länge des gefährdeten Streckenabschnittes  $l_j$  aus Abbildung 6),  $P_{Aj} = (l_j/v_F)/24h$ .

Mit den oben beschriebenen Zusammenhängen ergeben sich die in Tabelle 15 dargestellten Trefferhäufigkeiten.

WEA	Szenario	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]
01	Szenario 1 (Gleistreffer)	8,2E-08
09		1,5E-08
Gesamt		9,7E-08
01	Szenario 2 (Direkter Zugtreffer)	1,3E-08
09		2,0E-09
Gesamt		1,5E-08

**Tabelle 15:** Trefferhäufigkeiten pro Jahr, Gefährdung des Bahnverkehrs bei Turmversagen.

Beispielhaft dargestellt erfolgt bei einer Gefährdung des Bahnverkehrs von 9,7E-08 Treffer/a (Szenario 1) im Mittel ca. alle 10,3 Mio. Jahre ein schwerer Unfall durch Turmversagen. Eine Aussage, zu welchem Zeitpunkt sich ein Treffer ereignet, lässt sich hieraus nicht ableiten.

## 4 Bewertungsmaßstab

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

- DIN EN 50126, Bahnanwendungen, Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit /37/.
- Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /37/.
- Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE) /38/.
- Statistiken der Verkehrsunfälle des Statistischen Bundesamtes /39/.
- Risk Criteria in EU /41/.

- Deutsche Störfall-Kommission - Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung /42/.
- Auswertung des VdTÜV /43/.
- Internationale Empfehlung zur Risikobeurteilung Eisabwurf und Eisabfall /54/.

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 wird hierbei eine Risikoerhöhung um 10% betrachtet (in Anlehnung an das Prinzip der Minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /37/).

Für die Beurteilung von Personengefährdungen ist sowohl das Einzelpersonenrisiko (Individualrisiko) als auch das Gruppenrisiko (Kollektivrisiko) zu betrachten. Für die Bewertung ungeschützter Personen werden die im Folgenden dargestellten Bewertungsmaßstäbe herangezogen. Der Bewertungsmaßstab für das Individualrisiko ist im Kapitel 4.1 hergeleitet.

Für die Bewertung betroffener Straßenabschnitte wird neben dem Individualrisiko die Gefährdung im Straßenverkehr (Kollektivrisiko) als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und den aktuellen Verkehrsunfallzahlen /39/ beurteilt (siehe Kapitel 4.2).

Für die Bewertung der betroffenen Bahntrasse wird neben dem Individualrisiko die Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko) als Bewertungsmaßstab berücksichtigt. Diese wird auf Basis der Verkehrsdichte am Standort und der möglichen Mortalitätsrate beurteilt (siehe Kapitel 4.3).

## **4.1 Individualrisiko**

### MEM-Prinzip

Das Prinzip der MEM /37/ 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 /37/. Die in /37/ getätigten Angaben decken sich mit Erhebungen der GBE /38/. 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 /38/ 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 /43/ 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) /41/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Ein Individualrisiko oberhalb von  $1,0E-05$  pro Jahr wird als inakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Zur Ermittlung des gesamten Individualrisikos auf den betroffenen Straßen am Standort Windpark A3 - Maischeid sind die einzelnen Individualrisiken aller WEA für Verkehrsteilnehmer:innen auf der jeweiligen Straße zu addieren.

## **4.2 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) /40/ der Bundesrepublik Deutschland die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten /40/ 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 /39/. 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 /37/). In Anlehnung an die Vorgaben der StVO /40/ 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 /39/. 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 /39/ 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 Unfallhäufigkeit von schweren Verkehrsunfällen mit Personenschäden außerorts (ohne Autobahn) zu  $1,0E-01$  pro km und Jahr und auf Autobahnen zu  $3,4E-01$  pro km. 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 und auf Autobahnen zu  $3,4E-02$  schwere Verkehrsunfälle mit Personenschäden je Kilometer und Jahr bzw. zu  $3,4E-05$  pro Meter und Jahr.

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /41/ leiten sich daraus die folgenden Risikogrenzwertbereiche für die Beurteilung der Gefährdung des Straßenverkehrs ab:

- Außerorts (ohne Autobahn):
  - 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.
- Auf Autobahnen:
  - Untere Grenze: Der untere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von  $3,4E-06$  pro Meter und Jahr.
  - Obere Grenze: Der obere Grenzwert der Gefährdung des Straßenverkehrs liegt in einer Größenordnung von  $3,4E-05$  pro Meter und Jahr.

Eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb der unteren Grenze wird als akzeptabel bewertet. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit in einem Bereich zwischen der unteren und oberen Grenze, ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /41/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und ggf. umzusetzen. Eine

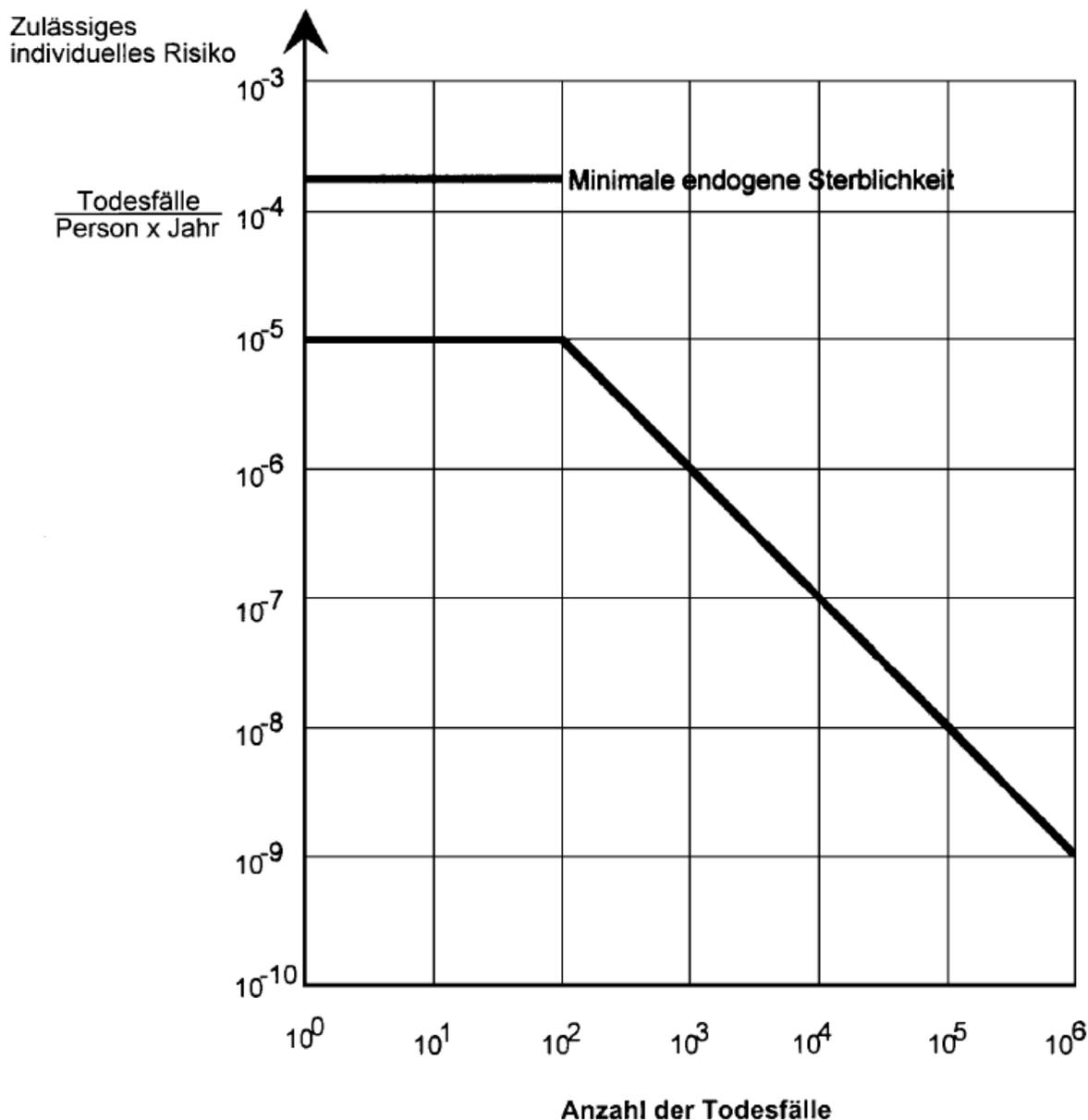
Unfallhäufigkeit oberhalb der oberen Grenze wird als inakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Da die Gefährdung des Straßenverkehrs pro Meter ermittelt wird, erfolgt eine Addierung der von einzelnen WEA ausgehenden Gefährdungen nur, wenn ein Straßenabschnitt von den Gefährdungsbereichen mehrerer WEA überdeckt wird.

### **4.3 Gefährdung des Bahnverkehrs (Kollektivrisiko)**

Für den Bahnverkehr ist zu berücksichtigen, dass bei einem kritischen Ereignis im Bahnverkehr nicht nur Einzelpersonen gefährdet sind, sondern mit einer Vielzahl von toten oder schwerverletzten Personen gerechnet werden muss. Die Anzahl der Personen, welche bei einem Bahnunfall tödlich verunglücken hängt vom Unfallhergang und der Besetzung des Zuges ab. Je nach Besetzung des Zuges muss mit unterschiedlich vielen Toten gerechnet werden. Für die Bestimmung der möglichen Mortalitätsrate wurden die schweren Zugunglücke der letzten Jahre verglichen und konservativ das Zugunglück von Eschede aus dem Jahre 1998 zugrunde gelegt. Der damals verunglückte ICE war mit 287 Personen belegt und bei dem Unglück starben 101 Menschen, woraus sich konservativ eine Mortalitätsrate für den Zugverkehr von 35% ergibt, welche für ein mögliches Zugunglück berücksichtigt wird. Diese Annahme ist insofern konservativ, als das Eschede das bislang schwerste Zugunglück in der Vergangenheit in Deutschland darstellt und im Rahmen der Risikobeurteilung für die Ermittlung der möglichen getöteten Personen bei einem Zugunglück berücksichtigt wird.

Abbildung 7 zeigt das in der DIN EN 50126 /37/ eingeführte MEM-Prinzip und die Risikoaversion für Ereignisse, bei denen mit mehr als 100 Toten gerechnet werden muss. Für die Ermittlung des Risikogrenzwertes für den Bahnverkehr am Standort Windpark A3 - Maischeid muss die mögliche Anzahl an Todesfällen je Ereignis ermittelt werden. Hierfür wird die Anzahl an durchschnittlich beförderten Personen herangezogen und mit der ermittelten Mortalitätsrate kombiniert.



**Abbildung 7:** Risikoaversion auf Basis des MEM-Prinzips /37/.

Auf Basis der Informationen aus /17/ und unter Berücksichtigung von täglich 104 auf dem betroffenen Streckenabschnitt fahrenden Züge /15/, /16/ wird eine durchschnittliche Zugbelegung von 500 Fahrgästen angesetzt. Mit der ermittelten Mortalitätsrate von 35% ergeben sich daraus 175 Tote bei einem Zugunglück, der zugehörige Risikogrenzwert für den Bahnverkehr beträgt  $9,3E-06$  pro Jahr (abgeleitet aus Abbildung 7).

In Anlehnung an das ALARP-Prinzip /41/ leitet sich daraus der folgende Risikogrenzwertbereich für die Beurteilung der Gefährdung des Bahnverkehrs am Standort Windpark A3 - Maischeid ab:

- Der untere Grenzwert der Gefährdung des Bahnverkehrs am Standort Windpark A3 - Maischeid liegt in einer Größenordnung von  $9,3E-07$  pro Jahr. Dies entspricht einem Ereignis mit schweren Folgen für den Bahnverkehr ca. alle 1,1 Mio. Jahre.
- Der obere Grenzwert der Gefährdung des Bahnverkehrs am Standort Windpark A3 - Maischeid liegt in einer Größenordnung von  $9,6E-06$  Ereignisse pro Jahr. Dies entspricht einem Ereignis mit schweren Folgen für den Bahnverkehr alle 107.527 Jahre.

Bezogen auf die am Standort Windpark A3 - Maischeid zu betrachtende Bahnstrecke bedeutet dies, dass eine ermittelte Unfallhäufigkeit unterhalb von  $9,3E-07$  als unkritisch zu bewerten ist. Liegt die ermittelte Unfallhäufigkeit in einem Bereich zwischen  $9,3E-07$  und  $9,3E-06$  ist das Risiko tolerabel. Es sind aber in Anlehnung an das ALARP-Prinzip /41/ Maßnahmen zur Risikominderung zu prüfen und nach Möglichkeit umzusetzen. Eine Unfallhäufigkeit oberhalb von  $9,3E-06$  wird als inakzeptabel eingestuft. Hier sind weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung zwingend erforderlich.

Zur Ermittlung der Gesamtgefährdung des Bahnverkehrs sind die einzelnen Gefährdungen aller WEA für den Bahnverkehr zu addieren.

## 5 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.

## 6 Zusammenfassung und Risikobewertung

Im Windpark A3 - Maischeid in Rheinland-Pfalz plant die Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH die Errichtung von zehn WEA des Typs ENERCON E-175 EP5 mit 162,0 m NH und 175,0 m D. In der Nähe der geplanten WEA verlaufen mehrere höherrangige Straßen sowie eine Bahntrasse.

Im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme galt es zu prüfen und zu bewerten, ob eine besondere Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Verkehrswegen oder eine besondere Gefährdung des Bahnverkehrs auf der nahegelegenen Bahntrasse durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch oder Turmversagen von den geplanten WEA vorliegt.

Zusammenfassend wurden die folgenden Ergebnisse und daraus resultierenden Empfehlungen ermittelt:

### 6.1 Eisabwurf

Auf Basis der TÜV NORD zur Verfügung gestellten Unterlagen zur Eiserkennung und zur Verhinderung von Eisabwurf (Kapitel 3.1.2) von drehenden Rotoren kommt TÜV NORD zu dem Ergebnis, dass das Ereignis Eisabwurf für die hier betrachteten WEA nicht anzunehmen ist. Das vorgesehene System zur Eiserkennung wurde durch TÜV NORD geprüft /8/. Mit der Prüfung durch TÜV NORD wurde für die Wirksamkeit des Eiserkennungssystems der aktuelle Stand der Technik bestätigt /8/.

### 6.2 Eisabfall

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Eisabfall ist zu erkennen, dass die forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 durch Eisabfall betroffen sind. Die Bahntrasse, die Autobahn A3 und die Kreisstraße K119 liegen außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Eisabfall, eine direkte Gefährdung des Bahnverkehrs auf der nahegelegenen Bahntrasse oder von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Autobahn A3 und der Kreisstraße K119 durch Eisabfall ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.1.4. daher nicht anzunehmen.

Für die forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Forstwege ist eine Gefährdung durch Eisabfall nicht zu unterstellen. Sollten hier Arbeiten im Winter durchgeführt werden, so werden diese normalerweise in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt. Bei Forstarbeiten im Freien wird üblicherweise ein Helm getragen bzw. kommen bei größeren Durchforstungsmaßnahmen überdachte Maschinen zum Einsatz. Diese bieten einen Schutz gegen möglichen Eisabfall. Die Fahrer:innen forstwirtschaftlicher Maschinen sind in ihrem Führerhaus gegen mögliche herabfallende 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 das Metaldach eines Fahrzeuges durchschlagen hat.

Für die Bewertung der Gefährdung im Straßenverkehr ist zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) und zum anderen das Kollektivrisiko (Gefährdung des Straßenverkehrs) zu betrachten. Für die untersuchten Straßenabschnitte wurden die Gefährdungen für Verkehrsteilnehmer:innen bestimmt (siehe Kapitel 3.1.5 und Kapitel 3.1.6).

Zusätzlich ist zu beachten, dass der Kreuzungsbereich zwischen der Bundesstraße B413 und der Landesstraße L266 innerhalb des fünften Gefährdungsbereichs durch Eisabfall von der geplanten WEA 01 liegt. Im Kreuzungsbereich ist aufgrund der geringeren Geschwindigkeit (bis hin zum kompletten Stillstand) mit erheblich längeren Aufenthalten im Gefährdungsbereich und daraus resultierend mit einer erhöhten Trefferwahrscheinlichkeit eines Fahrzeugs (Sachschäden) zu rechnen. Daraus folgt jedoch nicht direkt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für einen schweren Personenschaden da die Fahrzeuge Schutz vor herabfallenden Eisobjekten bieten. Ein Eisobjekt, welches die Windschutzscheibe durchschlägt und eine schwere Verletzung verursacht ist sehr unwahrscheinlich. Ebenso ist ein Verreißen des Lenkrads aufgrund eines auf die Windschutzscheibe aufprallenden Eisobjekts und ein daraus folgender schwerer Verkehrsunfall bei geringen Geschwindigkeiten nicht anzunehmen.

### **6.3 Rotorblattbruch und Turmversagen**

Auf Basis der ermittelten Gefährdung durch Rotorblattbruch und Turmversagen ist zu erkennen, dass die forstwirtschaftlich genutzten Wirtschaftswege in der näheren Umgebung der geplanten WEA sowie Teile der Bahntrasse, der Autobahn A3, der Bundesstraße B413, der Landesstraße L266 und der Kreisstraße K120 durch Rotorblattbruch und Turmversagen betroffen sind. Die Kreisstraße K119 liegt außerhalb der ermittelten Gefährdungsbereiche durch Rotorblattbruch und Turmversagen, eine direkte Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf der Kreisstraße K119 durch Rotorblattbruch und Turmversagen ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.2.3 und 3.3.2 daher nicht anzunehmen.

Für die forstwirtschaftliche Nutzung der umliegenden Flächen und Wirtschaftswege (inkl. Zufahrten der geplanten WEA) ist eine Gefährdung durch Rotorblattbruch und Turmversagen nicht anzunehmen, da die flächenbezogene Nutzungshäufigkeit durch Personen als gering anzusehen ist.

Für die Bewertung der Gefährdungen im Straßenverkehr und im Bahnverkehr wurde zum einen das Risiko von Einzelpersonen (Individualrisiko) und zum anderen das Kollektivrisiko (Gefährdung des Straßenverkehrs bzw. des Bahnverkehrs) bestimmt (siehe Kapitel 0 und 3.3). Für die Bewertung der Gefährdung des Bahnverkehrs wur-

den dabei zwei Szenarien betrachtet: Zum einen die Gefahr eines entgleisenden Zuges aufgrund von Trümmerteilen im Gleisbett (Szenario 1) und zum anderen die Gefahr eines direkten Zugtreffers durch ein Trümmerteil (Szenario 2).

## 6.4 Gesamtgefährdung

Für die Bewertung der Gesamtgefährdung des Bahnverkehrs und von Verkehrsteilnehmer:innen auf den betroffenen Straßen sind die Gefährdungen durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen zu addieren. Zusätzlich sind für die Bewertung der Individualrisiken und der Gefährdung des Bahnverkehrs die Risiken aller WEA zu addieren und gemeinsam zu betrachten. Für die Bewertung der Gefährdung des Straßenverkehrs erfolgt keine Addierung der Risiken mehrerer WEA, da die Gefährdung des Straßenverkehrs pro Meter Straßenabschnitt ermittelt wird und sich keine Gefährdungsbereiche mehrerer WEA überdecken. Die Gesamtgefährdungen sowie die hergeleiteten Risikogrenzwertbereiche sind in Tabelle 16 bis Tabelle 18 dargestellt.

Bereich	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/a]
Bahntrasse – Szenario 1	2,5E-07	1,0E-06 bis 1,0E-05
Bahntrasse – Szenario 2	4,7E-08	
Autobahn A3	3,1E-10	
Bundesstraße B413	1,1E-07	
Landesstraße L266	3,2E-08	
Kreisstraße K120	9,1E-08	

**Tabelle 16:** Gesamtgefährdungen, Individualrisiko durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen.

Straße	WEA	Trefferhäufigkeit [Treffer/(m*a)]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/(m*a)]
Autobahn A3	01	2,5E-08	3,4E-06 bis 3,4E-05
	02	1,1E-08	
	03	1,3E-08	
	09	2,6E-12	
Bundesstraße B413	01	9,4E-07	1,0E-06 bis 1,0E-05
Landesstraße L266	01	2,3E-07	
Kreisstraße K120	07	4,4E-07	

**Tabelle 17:** Gesamtgefährdungen des Straßenverkehrs durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen.

Szenario	Trefferhäufigkeit [Treffer/a]	Risikogrenzwertbereich [Treffer/a]
Szenario 1 (Gleistreffer)	5,7E-07	9,3E-07 bis 9,3E-06
Szenario 2 (Direkter Zugtreffer)	1,1E-07	

**Tabelle 18:** Gesamtgefährdungen des Bahnverkehrs durch Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen.

Durch den Vergleich der ermittelten Ergebnisse für die Gefährdung des Bahnverkehrs und von Verkehrsteilnehmer:innen auf den untersuchten Straßenabschnitten mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Risikogrenzwerten zeigt sich, dass sämtliche Risiken unterhalb der hergeleiteten Risikogrenzwertbereiche liegen und somit als akzeptabel einzustufen sind.

## 6.5 Empfohlene risikomindernde 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 und zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs über die gesamte Lebensdauer:

- Die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems der WEA sollte im Rahmen der Inbetriebnahme /46/, /47/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /50/ geprüft und dokumentiert werden. Betriebsbegleitend ist die Funktionalität des Eiserkennungssystems im Rahmen der vorgesehenen Prüfungen des Sicherheitssystems und der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten der WEA /46/, /47/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /50/ regelmäßig aufzuzeigen. Für die Inbetriebnahme des Eiserkennungssystems IDD.Blade sollte die Referenzierungsphase berücksichtigt werden. Die Referenzierung sollte in den Sommermonaten bzw. vor Beginn der Vereisungsperiode erfolgen, um die Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems zu garantieren.
- Durch Hinweisschilder (mind. im Abstand der Gesamthöhe der WEA) ist an den Zufahrtswegen der WEA und den umliegenden Wirtschaftswegen auf die Gefährdung durch 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 /54/ ergänzt werden, welches auf die Gefährdung durch Eisabfall hinweist.
- Die Mitarbeiter:innen der betroffenen Forstbetriebe sollten im Rahmen der Sicherheitsunterweisung nach §12 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) /53/ über die Gefährdungen durch Eisabfall unterrichtet werden. Zur Unterweisung gehören auch die vorgesehenen Warnhinweise, welche eine Eisabfallgefahr anzeigen.

Durch die Betreiberin oder den Betreiber der geplanten WEA sind die hierfür benötigten Unterlagen für die betroffenen Forstbetriebe zur Verfügung zu stellen.

- Prüfung, Schadstellenbewertung und -dokumentation der Rotorblätter auf fertigungs-, transport- und montagebedingte Schäden im Rahmen der Inbetriebnahme durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /50/.
- Regelmäßige Wiederkehrende Prüfung (WKP) des Sicherheitssystems und des Bremssystems gemäß /46/, /47/ sowie den Grundsätzen des Bundesverband Windenergie (BWE) /51/, /52/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /50/.
- Regelmäßige WKP der Rotorblätter und der Standsicherheit des Turms inklusive Fundament und Übergang zwischen Turm und Gondel (mind. Sichtprüfung) gemäß /46/, /47/ sowie den Grundsätzen des BWE /51/, /52/ durch eine:n unabhängige:n Sachverständige:n /50/. Aufgrund der Nähe zur stark befahrenen Autobahn A3 und der Bahntrasse sowie der möglichen Schadensschwere empfiehlt TÜV NORD, die WKP für die WEA 01 in einem zeitlich verkürzten Intervall (mindestens alle zwei Jahre bei abgeschlossenem Wartungsvertrag) durchzuführen, wobei es im Ermessen der oder des Sachverständigen liegt, das Intervall zu verlängern oder zu verkürzen. Alternativ könnte die WEA 01 auch mit einem externen System zur permanenten Zustandsüberwachung (Condition Monitoring System (CMS)) ausgestattet werden. Das CMS sollte dabei die vorhandenen Sicherheitssysteme der geplanten WEA unterstützen, sodass ein möglicher Schaden oder Schadstellen frühzeitig erkannt werden, bevor dadurch eine Gefährdung entsteht.
- 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 der Bahntrasse, der Alarmierungsstellen und weitere Schadensbegrenzung regelt.

## **6.6 Abschließende Risikobewertung:**

Unter Berücksichtigung der Tatsache,

- dass die Risikobeurteilung konservativ durchgeführt wurde,
- dass in der Realität nicht jeder Treffer 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 jedes große Trümmerteil auf der Bahntrasse zu einem Entgleisen des Zuges führt und
- dass darauf aufbauend nicht jede Zugentgleisung oder jeder direkte Treffer der Bahn einen schlimmen Unfall vergleichbar mit Eschede zur Folge haben wird,
- dass sich die abgeschalteten, vereisten WEA prinzipiell nicht von anderen Bauwerken mit Eisansatz unterscheiden,

- dass über die Bäume am Standort ein natürlicher Schutz gegenüber herabfallenden Eisobjekten von einer vereisten WEA besteht (Abschattung),
- dass die öffentlich zugänglichen Wege (Wirtschaftswege) in unmittelbarer Nähe der WEA gemäß /5/ hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzt werden (untergeordnete Freizeitnutzung) und daher von einer eher geringen Frequentierung ausgegangen werden kann,
- dass im Winter in den Wäldern am Standort grundsätzlich mit einem Risiko durch Eisabfall und brechende Bäume zu rechnen ist,
- dass Forstarbeiten im Freien in einem zeitlich sehr begrenzten Rahmen durchgeführt werden, sowie dass bei Forstarbeiten ein Helm getragen wird und grundsätzlich von einem erhöhten Gefahrenpotential durch brechende Äste / Bäume und durch die Arbeit mit der Kettensäge ausgegangen werden muss,
- 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 verbleibende Restrisiko für Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Verkehrswegen und für den Bahnverkehr auf der nahegelegenen Bahntrasse als akzeptabel zu betrachten.

Unter Berücksichtigung

- der mit der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen des Bundeslandes Rheinland-Pfalz /49/ 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) /48/ §5 Abs. 1 Nr. 1: „Vermeidung sonstiger Gefahren“

ist eine unzulässige Gefährdung von Verkehrsteilnehmer:innen auf den umliegenden Verkehrswegen und dem Bahnverkehr auf der nahegelegenen Bahntrasse durch Eisabwurf/Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen der zehn geplanten WEA im Windpark A3 - Maischeid nicht anzunehmen.

## 7 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 Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH 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 Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH 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 Vattenfall wiwi consult Erneuerbare Energie Südwest GmbH die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

## 8 Formelzeichen und Abkürzungen

A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
a	Jahr	
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz	
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 <sub>Nenn</sub>	Nennleistung	[MW]
StVO	Straßenverkehrsordnung	
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	
WEA	Windenergieanlage(n)	
WKP	Wiederkehrende Prüfung	

## 9 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ wiwi consult GmbH & Co. KG. Angaben zu den WEA-Spezifikationen. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 12.10.2023.
- /2/ wiwi consult GmbH & Co. KG. Angaben zu den WEA-Koordinaten. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.10.2023.
- /3/ wiwi consult GmbH & Co. KG. Übersichtskarte Layout Windpark A3 - Maischeid, Stand: 19.10.2023. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 19.10.2023.
- /4/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH. Angaben zu den meteorologischen Daten: Abschätzung des langjährigen mittleren Windpotentials auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Dierdorf / A3 -Windatlas Vorabschätzung-, Berichts-Nr.: 23-271-7230627-Rev.00-WV-PP, Stand: 14.06.2023. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 12.10.2023.
- /5/ ENERCON GmbH. Technische Beschreibung ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS), Dokument-ID: D02531399/1.0-de, Stand 05.10.2022. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 12.10.2023.
- /6/ wiwi consult GmbH & Co. KG. Angaben zum Eiserkennungssystem: IDD.Blade. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 18.12.2023.
- /7/ wiwi consult GmbH & Co. KG. Beschreibung der Schutzobjekte und Angaben zu den Nutzungshäufigkeiten. Übermittelt durch wiwi consult GmbH & Co. KG mit E-Mails vom 12.10.2023 und vom 13.10.2023.
- /8/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Gutachten zur Bewertung der Funktionalität von Eiserkennungssystemen zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen: Eisansatzerkennung nach dem ENERCON Kennlinienverfahren, Bericht Nr.: 8111881239 Rev.7 vom 09.12.2021.
- /9/ DNV GL AS. Service Specification DNV-SE-0439: Certification of condition monitoring. Oktober 2021.
- /10/ DNV Renewables Certification. Type Certificate: Ice Detection System IDD.Blade, Certificate No.: TC-DNV-SE-0439-03577-3, Stand: 17.01.2023, gültig bis: 16.01.2025.
- /11/ DNV Renewables Certification. Gutachten Ice Detection System, IDD.Blade, Report-Nr.: 75148, Rev. 0, Stand 21.10.2019.
- /12/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Gutachten Eisansatzerkennung an Rotorblättern von ENERCON Windenergieanlagen durch das ENERCON-Kennlinienverfahren und externe Eissensoren. Bericht Nr.: 8111 7247 373 D Rev.2 vom 28.02.2022.

- /13/ TOP50, Amtliche topografische Karten, Landesvermessungsämter der Bundesländer, (der Aktualisierungsstand der digitalen Daten entspricht dem der analogen Karten), 2003/2004.
- /14/ Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau. Mobilitätsatlas, Straßenverkehrszählung (2021).
- /15/ Deutsche Bahn AG. Angaben zur Frequentierung der Bahntrasse: ICE/IC Streckennetz Fahrplan 2024, Stand: 11/2023.
- /16/ Deutsche Bahn AG. Angaben zur Frequentierung der Bahntrasse: Fahrplanfinder. Geprüft am 13.10.2023.
- /17/ Lok Report. Deutsche Bahn: 15 Jahre Schnellfahrstrecke Köln-Rhein/Main, Stand: 02.08.2017. Abgerufen am 13.10.2023 unter LOK Report - Deutsche Bahn: 15 Jahre Schnellfahrstrecke Köln-Rhein/Main (lok-report.de).
- /18/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /19/ Tammelinn, 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.
- /20/ VTT Technical Research Centre of Finland. Icing map of Germany, 2020.
- /21/ Deutscher Wetterdienst. Freie Klimadaten, Eistage Deutschland 1991-2020 (Rasterdaten). [www.dwd.de](http://www.dwd.de).
- /22/ 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.
- /23/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /24/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /25/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /26/ 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.
- /27/ 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.
- /28/ 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.
- /29/ COST-727. Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp. Zürich. 2006.

- /30/ NASA: Ice Accretions and Icing Effects for Modern Airfoils, April 2000.
- /31/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Statistische Auswertung von Pressemeldungen über Havarien von Windenergieanlagen im Zeitraum 2010 bis 2021 (Internetrecherche). Hamburg. 2022.
- /32/ Rijksinstituut voor Volksgezondheit en Milieu: Actualisatie Faalfrequenties windturbines, RIVM-rapport 2021-0234.
- /33/ Deutsche WindGuard GmbH. Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Halbjahr 2023.
- /34/ Schaumburger Wochenblatt. „Burglind“ reißt Windkraftanlage zu Boden. Meldung vom 06.01.2018.
- /35/ LR-online.de. War es eine Windhose? Gutachter skeptisch. Meldung vom 14.12.2014.
- /36/ Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung. Jahresberichte über die Arbeit der Eisenbahn-Unfalluntersuchung des Bundes, Stand: 25.09.2023.
- /37/ DIN EN 50126-2. Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik. Oktober 2018.
- /38/ GBE. Heft 52 – Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). 2013.
- /39/ D STATIS. Verkehr, Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Statistisches Bundesamt. 2022.
- /40/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Fassung vom 12.07.2021.
- /41/ Trbojevic V.M. 2005. Risk Criteria in EU. ESREL'05, Poland, 27.-30. Juni 2005.
- /42/ Störfall-Kommission. 2004. Bericht, Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung. SFK-GS-41.
- /43/ Hauptmanns, U. & Marx, M. Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Verlag VdTÜV - Band 18. Berlin. November 2010.
- /44/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /45/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /46/ DIBt. Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Berlin. Stand Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015.
- /47/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Hamburg. Ausgabe 2010.

- /48/ BImSchG. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Deutschland. Fassung vom 26.07.2023.
- /49/ Ministerium der Finanzen, Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV-TB). Fassung Juli 2023.
- /50/ Bundesverband WindEnergie e.V. Anforderungen an den Sachverständigen für Windenergieanlagen. Berlin. 21.09.2007.
- /51/ Bundesverband WindEnergie e.V. Grundsätze für die Wiederkehrende Prüfung von Windenergieanlagen. Berlin 2012.
- /52/ Bundesverband WindEnergie e.V. Grundsätze für die die Prüfung zur zustandsorientierten Instandhaltung von Windenergieanlagen. Osnabrück. 21.09.2007.
- /53/ ArbSchG. Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG). Deutschland. Fassung vom 31.05.2023.
- /54/ IEA Wind TCP Task 19. International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments. Revision 1, April 2022.