



Gutachten zu Risiken durch Bauteilversagen am Standort Vellahn

Referenz-Nummer:

2023-E-056-P4-R0-VA - ungekürzte Fassung

Auftraggeber:

Windpark Vellahn GmbH & Co. KG
Windmühlenberg, 24814 Sehestedt

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige,

Hamburg, 08.02.2023

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 08.02.2023

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680

Fax: 040 53303680-79

Rebecca Bode: bode@f2e.de oder Dr. Thomas Hahm: hahm@f2e.de

Urheber- und Nutzungsrecht:

Urheber des Gutachtens ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Veröffentlichung und Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPg §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPg §20 Absatz (1) wird gestattet.



Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung.....	3
2 Grundlagen.....	3
2.1 Eintrittshäufigkeiten und potentielle Gefährdungsbereiche für Bauteilversagen.....	3
2.2 Berechnung der Flugbahn von Blattbruchstücken.....	4
2.3 Berechnung der Auftreffhäufigkeit nach Turmversagen.....	6
2.4 Grenzwerte und Risikobewertung.....	6
2.4.1 Grenzwerte individuelles Risiko.....	6
2.4.2 Grenzwerte kollektives Risiko.....	7
2.4.3 Grenzwerte kollektives Risiko für Ereignisse mit mehreren Todesfällen.....	8
2.4.4 Risikobewertung.....	9
2.4.5 Grenzwerte für Schäden an Öl- und Gasleitungen.....	13
2.4.6 Risikomindernde Maßnahmen.....	14
2.4.7 Addition von Risiken.....	15
2.5 Gültigkeit der Ergebnisse.....	16
2.6 Verwendete Begriffe und Symbole.....	17
3 Eingangsdaten.....	18
3.1 Ausgangssituation.....	18
3.2 Winddaten am Standort.....	18
3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	19
3.4 Standortspezifische Grenzwerte für die Erdgasleitung.....	22
3.5 Risikoreduzierende Maßnahmen.....	22
4 Durchgeführte Untersuchungen.....	22
4.1 Standortbesichtigung.....	22
4.2 Ermittlung der Gefährdungsbereiche.....	23
4.3 Schadenshäufigkeiten an den Transportfernleitungen/ bergbaulichen Anlagen.....	24
5 Weitere Maßnahmen.....	24
6 Zusammenfassung.....	25
7 Formelzeichen und Abkürzungen.....	27
8 Literaturangaben.....	27
Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Bauteilversagen.....	29
A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken.....	29
A.2 Schadenshäufigkeiten.....	30



1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Rotorblattbruch, Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors an den Windenergieanlagen (WEA) zu betrachten und zu bewerten.

2 Grundlagen

2.1 Eintrittshäufigkeiten und potentielle Gefährdungsbereiche für Bauteilversagen

Die Eintrittshäufigkeiten für die Schadensfälle Rotorblattbruch, Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors werden typischerweise auf Basis bekannter Schadenereignisse eingeschätzt. Umfassende Untersuchungen hierzu finden sich z.B. in /1.7/. Hier werden folgende Versagenshäufigkeiten pro WEA pro Jahr genannt:

Tabelle 2.1.1: Versagenshäufigkeiten an WEA pro Anlage und Jahr sowie gemeldete und bestätigte Wurfweiten nach /1.7/.

Anlagenteil	Versagenshäufigkeiten pro WEA pro Jahr		Maximale Wurfweite
	Erwartungswert	Erwartungswert zuzüglich Sicherheitszuschlag	
Ganzes Blatt	$6.3 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$	150m
Turm	$5.8 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	Gesamthöhe der WEA
Gondel oder Rotor	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$4.0 \cdot 10^{-5}$	Rotorradius

Die Erwartungswerte zuzüglich des Sicherheitszuschlages werden im Folgenden als Eintrittshäufigkeiten zugrunde gelegt.

Die potentiellen Gefährdungsbereiche durch Bauteilversagen ergeben sich aus den in Tabelle 2.1.1 aufgeführten maximalen Wurfweiten. Der potentielle Gefährdungsbereich ist dabei als der Bereich definiert, innerhalb dessen ein im Hinblick auf die Risikobewertung relevantes Risiko bestehen kann.

Für unterirdisch verlegte Objekte wird als Gefährdungsbereich für Turmversagen die Nabenhöhe samt Gondel zugrundegelegt. Es wird davon ausgegangen, dass am havarierten Turm verbliebene Blattteile keine relevante Gefahr für unterirdische Objekte darstellen und die hauptsächliche Gefährdung durch den Aufprall von Turm



und Gondel verursacht wird.

Wurfweiten für Blattbruchstücke erreichen deutlich größere Werte als die in /1.1/ angegebene und in Tabelle 2.1.1 aufgeführte Wurfweite für das ganze Blatt. Als potentieller Gefährdungsbereich für Blattbruch kann hier in guter Näherung der potentielle Gefahrenbereich für Eiswurf vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser angenommen werden.

Außerhalb des potentiellen Gefährdungsbereiches sinkt das Risiko in der Regel nicht auf Null, da es zu sehr seltenen Ereignissen kommen kann, bei denen z.B. die Flugweite einzelner Blattbruchstücke den potentiellen Gefährdungsbereich übersteigt. Das Risiko durch solche Ereignisse ist aber im Allgemeinen als vernachlässigbar anzusehen.

Bei kleinen WEA mit einer hohen Drehzahl oder z.B. bei stallgeregelten WEA mit verstellbaren Blattspitzen, deren Verlust als zusätzliches Risiko zu berücksichtigen ist, kann bei einer größeren Anzahl Bruchstücke eine höhere Wurfweite als die Ausdehnung des hier definierten potentiellen Gefährdungsbereichs erreicht werden. Dies wird im Einzelfall bei der Festlegung der Schutzobjekte in Kapitel 4.2 entsprechend berücksichtigt.

Im Gegensatz zum potentiellen Gefährdungsbereich, der zur Festlegung der zu betrachtenden WEA und Schutzobjekte dient, ergibt sich der standortspezifische Gefährdungsbereich aus der standortspezifischen Berechnung der Auftreffpunkte der Bruchstücke. Auch hier gilt, dass außerhalb des standortspezifischen Gefährdungsbereiches das Risiko in der Regel nicht Null beträgt, aber im Allgemeinen als vernachlässigbar anzusehen ist.

Eine mögliche Ursache für ein Umstürzen der WEA, einen Absturz des Rotors, einen Absturz der Gondel oder den Verlust des ganzen bzw. Teilen eines Rotorblattes ist ein Brand der WEA. Das durch einen Brand hierdurch verursachte Risiko ist daher in der Risikobetrachtung für das Bauteilversagen enthalten und mit abgedeckt. Nicht mit abgedeckt ist das durch die Ausbreitung von brennenden Partikeln und Trümmern in der Umgebung bestehende Brandrisiko.

2.2 Berechnung der Flugbahn von Blattbruchstücken

Für die Berechnung der Flugbahnen der Blattbruchstücke wird basierend auf den Luftwiderstandsbeiwerten, der Geometrie und der Masse der Blattbruchstücke die Lage des Blattbruchstückes während der gesamten Bewegung erfasst und verfolgt, sodass sich im Vergleich zu einer rein ballistischen Flugbahn ein realistischeres Bild der Flugweiten ergibt und auch solche Flugbahnen erfasst werden, bei denen im



Einzelfall aufgrund von Auftriebskräften am Blattbruchstück sehr hohe Flugweiten erreicht werden. In Abbildung 2.2.1 ist eine beispielhafte Flugbahn visualisiert.

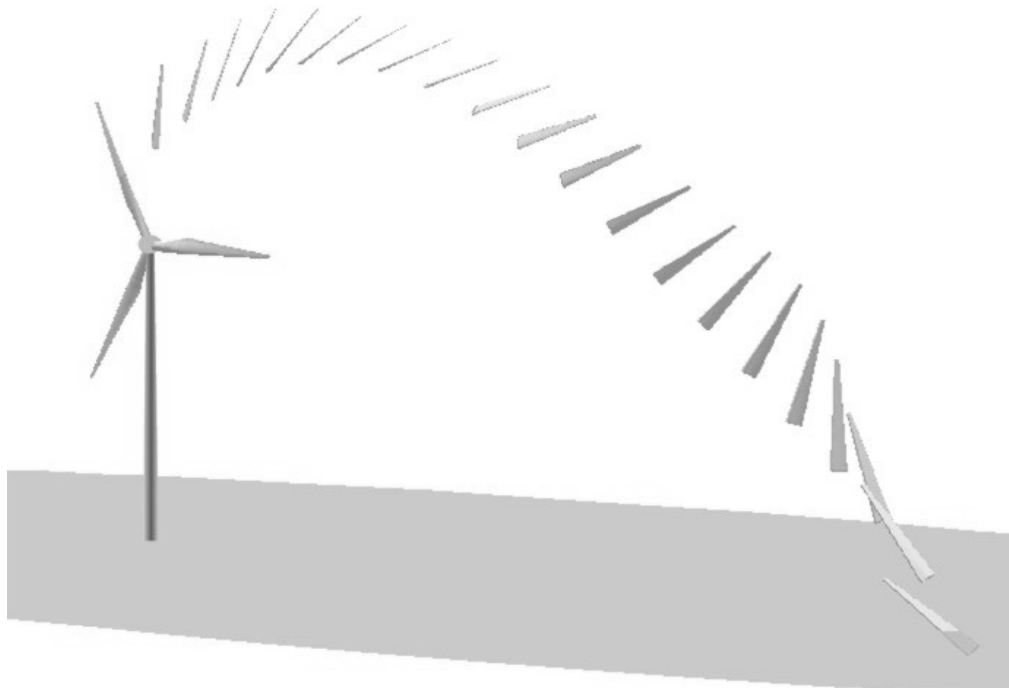


Abbildung 2.2.1: Beispielhafte Flugbahn eines Blattbruchstückes /1.8/.

Für die Berechnung werden für die Leistungsklasse der WEA repräsentative Daten zu Blattmassenverteilung, Geometrie, aerodynamischen Beiwerten (Auftrieb-, Schub- und Momentenbeiwerte an verschiedenen Blattschnitten) sowie Pitch- und Drehzahlverlauf unterstellt. Der Bruch wird in allen Fällen als glatter, plötzlicher Abriss modelliert, der während des Bruchvorgangs keine Energie verbraucht.

Im Unterschied zu /1.7/, wo stets der Abriss des ganzen Blattes unterstellt wird, werden auch größere Blattbruchstücke betrachtet, die tendenziell zu größeren Flugweiten und damit zu einer konservativen Betrachtungsweise führen.

Folgende Randbedingungen wurden bei der Berechnung zugrunde gelegt:

- Abrisspunkte:
 - ganzes Blatt (50% der Ereignisse),
 - Bruchstücke von 90%, 70%, 50% und 30% der Blattlänge (jeweils 12.5% der Ereignisse).
- Windgeschwindigkeitsverteilung entsprechend Tabelle 3.2.1.
- Windrichtung in 1° Grad-Schritten gewichtet mit der Häufigkeitsverteilung



der Windrichtungen entsprechend Tabelle 3.2.1.

- Rotorblattstellung zum Zeitpunkt des Abrisses: gleichverteilt in 2°-Schritten.
- Drehzahl der WEA: Abhängig von der Windgeschwindigkeit entsprechend Kennlinie der WEA (Überdrehzahl wird vernachlässigt, da dies als Ursache für Blattbruch vernachlässigbar ist /1.7/).
- Geländehöhe: für das Geländemodell in der Umgebung der WEA werden Daten aus /1.3/ berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Gesamthäufigkeit, dass ein Blattbruchstück auf einer Fläche von einem Quadratmeter in der Umgebung einschlägt, ist anschließend die Eintrittswahrscheinlichkeit von $8,4 \cdot 10^{-4}$ für einen Blattbruch pro WEA und pro Jahr nach Tabelle 2.1.1 mit in Betracht zu ziehen.

2.3 Berechnung der Auftreffhäufigkeit nach Turmversagen

Ermüdungsschäden an Türmen sind selten. Es kann angenommen werden, dass das Versagen eines Turmes aufgrund von Ermüdung durch die Bauüberwachung und wiederkehrenden Prüfungen weitestgehend ausgeschlossen werden kann /1.9/. Eine Gefährdung durch Turmversagen wird daher unterstellt, wenn es bei extremer Belastung (Sturm) aufgrund von Konstruktions-, Planungs- oder Wartungsfehlern zu einem Versagen des Turmes bzw. des Fundamentes kommt.

Aus den Abmaßen der WEA und der Lage der Schutzobjekte ergibt sich die Windrichtung aus denen die Starkwindlagen unterstellt werden müssen. Aus den Winddaten in Tabelle 3.2.1 werden anschließend die relativen Häufigkeiten für Starkwind mit einem 10-Minuten-Mittelwert von mehr als 16m/s auf Nabenhöhe für die jeweils zu betrachtenden Windrichtungen bestimmt. In Verbindung mit der Versagenshäufigkeit aus Tabelle 2.1.1 ergeben sich die Gesamthäufigkeiten.

2.4 Grenzwerte und Risikobewertung

2.4.1 Grenzwerte individuelles Risiko

Für Personenschäden findet sich in der Literatur das Konzept der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /2.2/. Die minimale endogene Sterblichkeit in entwickelten Ländern findet sich in der Gruppe der fünf bis 15jährigen. Sie liegt bei $2 \cdot 10^{-4}$ Todesfällen pro Person und Jahr. Eine neue Technologie sollte diese endogene Sterblichkeit nicht nennenswert erhöhen. Es wird daher gefordert, dass die einer neuen Technologie verbundene Sterblichkeit nicht mehr als $1 \cdot 10^{-5}$ Todesfälle pro Person und Jahr betragen darf.



An anderer Stelle wird das gesellschaftlich akzeptierte Todesfallrisiko abhängig vom Grad der Freiwilligkeit und möglichen Einflussnahme auf die Handlung dargestellt /1.5/. Die Akzeptanz sinkt, wenn zum einen die Möglichkeit sich durch adäquates Handeln zu schützen gegen Null geht und zum anderen sich die Person nicht freiwillig der Gefährdung aussetzt. Der unter diesen Randbedingungen definierte Grenzwert liegt bei $1 \cdot 10^{-5}$ Todesfällen pro Person und Jahr und entspricht damit dem definierten MEM-Kriterium.

Betrachtet man das Risiko in der Nähe einer WEA durch Bauteilversagen tödlich zu verunglücken, begibt man sich in der Regel weder freiwillig in diese Lage noch hat man durch persönliche Einflussnahme eine Möglichkeit das Risiko nennenswert zu minimieren. Der Ansatz des MEM-Kriteriums ist daher an dieser Stelle gerechtfertigt und sinnvoll.

Damit liegt eine inakzeptable Gefährdung durch Bauteilversagen nur vor, wenn der so definierte Grenzwert überschritten wird.

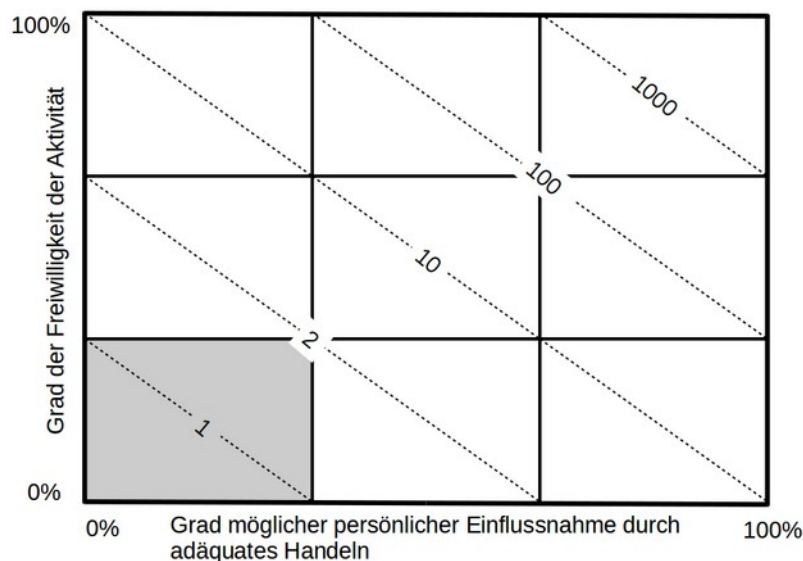


Abbildung 2.4.1.1: Akzeptiertes Todesfallrisiko pro 100 000 Personen /1.5/. Grau hinterlegter Bereich entspricht dem MEM-Kriterium /2.2/.

2.4.2 Grenzwerte kollektives Risiko

Bei der Bewertung von Schutzobjekten, bei denen sich eine größere Anzahl von Personen in der Nähe der WEA aufhält, wie es typischerweise bei Verkehrswegen der Fall ist, ist gemäß /2.1/ das daraus resultierende Kollektivrisiko zu bewerten. Entsprechende Grenzwerte für das Kollektivrisiko werden in /2.1/ definiert. Diese liegen für das Kollektivrisiko zwei Größenordnungen oberhalb des MEM-Kriteriums /2.1/ und somit bei $1 \cdot 10^{-3}$ Todesfällen pro Jahr.



Gemäß /2.1/ kann für das Risiko im Straßenverkehr der Grenzwert für das kollektive Risiko basierend auf vorliegenden Unfallstatistiken ermittelt werden. Diese Vorgehensweise findet Anwendung für Straßen des Fernverkehrs und angeschlossene Straßen, die dem Durchgangsverkehr dienen. Dies sind in Deutschland die Bundesautobahnen, die Bundesstraßen und die Landesstraßen.

Das aktuelle Risiko ist dabei auf Basis der Todesfälle und der Schwerverletzten im Straßenverkehr zu ermitteln. Entsprechend der grundsätzlichen Idee des MEM-Kriteriums wird auch hier gefordert, dass ein bestehendes Risiko nicht nennenswert erhöht werden darf. Der anzusetzende Grenzwert für eine inakzeptable Gefährdung wird daher eine Größenordnung niedriger gewählt als das bestehende Risiko /2.1/.

Mit /1.1/ liegen entsprechende Unfallzahlen für Kfz-Benutzer gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge vor. Tabelle 2.4.2.1 listet die entsprechenden absoluten Unfallzahlen pro Jahr für die betreffenden Straßengruppen.

Tabelle 2.4.2.1: Verunglückte Kfz-Benutzer gegliedert nach Straßenklasse pro Jahr /1.1/.

Straßenklasse	Getötete	Schwerverletzte
Bundesautobahn	344	5673
Bundesstraße (außerorts)	640	7742
Landesstraße (außerorts)	646	9210

In Verbindung mit der Inlandsfahrleistung auf den verschiedenen Straßenklassen lassen sich daraus die bestehende Risiken bezogen auf die gefahrene Strecke bestimmen. Damit ist es möglich abhängig von der Verkehrsdichte straßenspezifische Risikowerte festzulegen. Die Streckenlänge ist dabei so festzulegen, dass jeweils nur eine WEA zur Gefährdung beitragen kann, um auch hier zu gewährleisten, dass das von jeder WEA ausgehende Risiko unabhängig bewertet werden kann. Werden die Risikogrenzwerte standortspezifisch bestimmt, so sind sie in Kapitel 3 dargestellt. Für alle anderen Straßenklassen kann der oben definierte Grenzwert für das Kollektivrisiko von $1 \cdot 10^{-3}$ zugrunde gelegt werden.

2.4.3 Grenzwerte kollektives Risiko für Ereignisse mit mehreren Todesfällen

Der in 2.4.2 verwendete Begriff des kollektiven Risikos orientiert sich an den Empfehlungen der IEA /2.1/ und betrachtet die Summe aller Todesfälle, die sich durch Ereignisse mit jeweils nur einem oder sehr wenigen Todesfällen ergeben. Für Risiken, bei denen pro Ereignis eine große Zahl von Toten zu erwarten ist, wie z.B. bei einem Flugzeugabsturz, ist zu beachten, dass das gesellschaftlich akzeptierte Risiko nied-



riger anzusetzen ist.

Im Zusammenhang mit WEA kommt dies zum Tragen, wenn das Risiko durch Bauteilversagen für eine sehr stark befahrene Straße wie z.B. eine Bundesautobahn oder eine Bahnlinie mit Personenverkehr bewertet wird. In beiden Fällen ist entweder aufgrund der hohen Verkehrsdichte und Geschwindigkeit und den resultierenden Folgeunfällen oder wegen einem Entgleisen bei hohen Geschwindigkeiten damit zu rechnen, dass es in einem Schadensfall zu mehreren Todesfällen kommt. In diesen Fällen erfolgt die Grenzwertbestimmung anhand sogenannter F-N-Kurven / 2.1, 2.5/.

Es existieren verschiedene F-N-Kurven, die Ereignissen mit mehreren Toten unterschiedlich abnehmende Akzeptanzen zuweisen (sogenannte Risk-Aversion). Die IEA empfiehlt in /2.1/ eine F-N-Kurve mit einem Risk Aversion Faktor von eins. Dies entspricht auch dem für F-N-Kurven in /2.8/ angegebenen Beispiel und auch der aktuellen Praxis in Belgien /2.8/ und wird daher hier verwendet.

Bei sehr stark befahrenen Straßen wird standortspezifisch ermittelt, wie viele Tote pro Ereignis standortspezifisch zu erwarten sind. Im Anschluss wird die entsprechende F-N-Kurve auf den standortspezifischen Grenzwert bezogen.

Bei überregionalen Bahnstrecken mit Personenverkehr findet standortspezifisch eine konservative Abschätzung der Anzahl von Toten pro Ereignis statt.

2.4.4 Risikobewertung

Im Folgenden wird in allen Fällen das individuelle Risiko und das kollektive Risiko ermittelt. Anschließend wird in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen das individuelle oder kollektive Risiko für eine Bewertung zugrunde gelegt. In Anlehnung an /2.1/ kann dabei folgende Aufteilung verwendet werden:

- Individuelles Risiko:
 - land- und forstwirtschaftlich genutzte Wege, Wanderwege, Fahrradwege und Straßen mit geringer Verkehrsdichte,
 - Objekte wie Scheunen, Hütten etc., die regelmäßig durch den Besitzer oder durch einen kleinen Personenkreis genutzt werden.
- Kollektives Risiko:
 - stark genutzte Gemeindestraßen, Kreisstraßen, Landesstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen,
 - Objekte, die von generellem Interesse für die Öffentlichkeit sind und entsprechend durch eine größere Personengruppe genutzt werden (öffentliche Parkplätze, Industrieanlagen etc.).



- Ereignisse, bei denen pro Ereignis eine große Zahl von Toten zu erwarten ist.

Für die Bewertung des kollektiven Risikos sind dabei die Risiken aller zu betrachtenden Individuen zu addieren. In Fällen, bei denen pro Ereignis eine große Anzahl von Toten zu erwarten ist, sind die Grenzwerte für das kollektive Risiko entsprechend zu reduzieren.

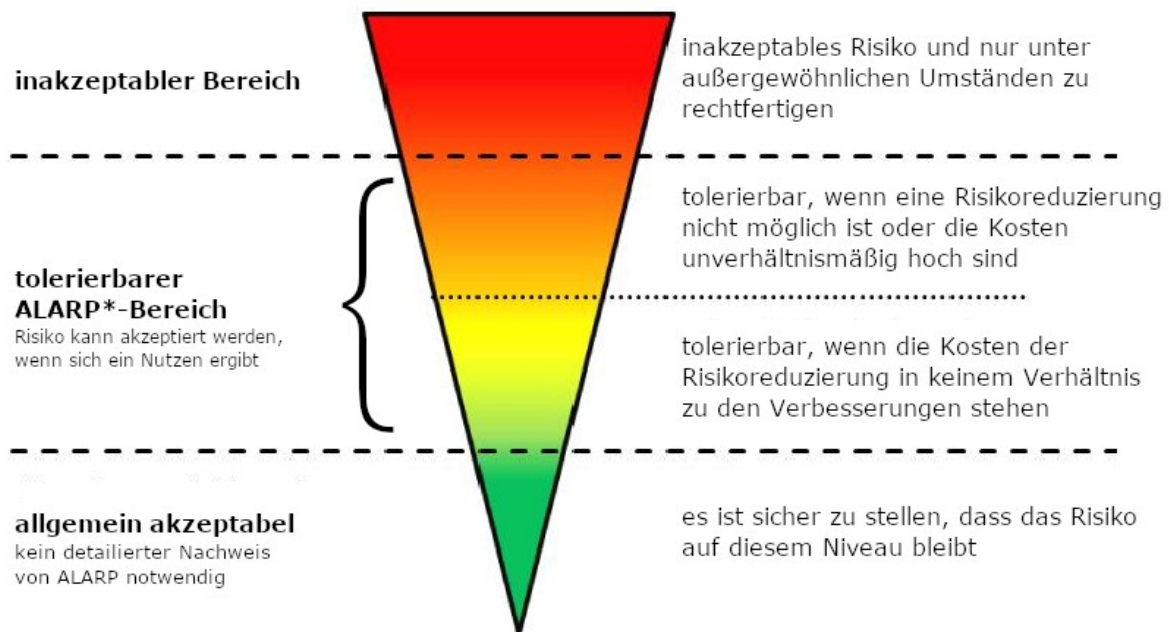
Für die Bewertung des individuellen Risikos ist das sogenannte kritische Individuum maßgeblich, das aufgrund seiner Nutzung der Schutzobjekte dem höchsten Risiko ausgesetzt ist. Das individuelle Risiko ist im Gegensatz zum kollektiven Risiko daher nicht von der Gesamtanzahl der Personen abhängig, die die Schutzobjekte frequentieren. Auf kleineren Wegen, auf denen nur eine geringe Fahrgeschwindigkeit von Kfz zu unterstellen ist, ist das kritische Individuum z.B. in der Regel der Fußgänger oder Radfahrer. Aufgrund der geringen Eintrittshäufigkeit kann das Risiko durch Bauteilversagen von einer einzelnen WEA für einen individuellen Fußgänger im Allgemeinen keine unzulässigen Werte erreichen. Die Ausweisung und Bewertung des Risikos kann daher im Einzelfall auf die für die Gesamtbewertung relevanten WEA begrenzt werden (siehe Kapitel 2.4.7).

Das individuelle Risiko ist in der Regel für stark genutzte überregionale Verkehrswege nicht maßgeblich. Eine Ausnahme bilden hier die überregionalen Bahnstrecken, da hier beim Szenario Eiswurf oder Eisfall nur wenige individuelle Personen, nämlich die Lokführer, gefährdet sind. Da es nicht praktikabel oder nicht möglich ist, das individuelle Risiko entlang einer gesamten Bahnstrecke zu bewerten, werden in diesem Fall die Grenzwerte für das individuelle Risiko um den Faktor zehn erniedrigt.

Beim Szenario Bauteilversagen gelten in der Nähe von Bahnstrecken die reduzierten Grenzwerte für das kollektive Risiko gemäß Kapitel 2.4.2, die in diesem Fall den hier definierten Grenzwerten für das individuelle Risiko entsprechen.

Entsprechend dem Vorgehen der UK Health and Safety Executive (HSE) /1.6/ werden in /2.1/ unterhalb des inakzeptablen Bereiches weitere Risikobereiche definiert, die unterschiedliche Maßnahmen erfordern.

Das MEM-Kriterium definiert für das individuelle Risiko dabei die Obergrenze des sogenannten ALARP-Bereichs (As Low As Reasonably Practicable, s. Abbildung 2.4.4.1). Risiken die höher als das MEM-Kriterium liegen, sind demnach nicht akzeptabel.



*: ALARP: as low as reasonably practicable
Risiko so niedrig, wie vernünftigerweise möglich

Abbildung 2.4.4.1: ALARP-Prinzip nach /1.6/. Die Grenze zum roten inakzeptablen Bereich wird für das individuelle Risiko durch das MEM-Kriterium /2.2/ definiert.

Darunter folgt der ALARP-Bereich, welcher sich über zwei Größenordnungen der Risikowerte erstreckt.

Liegt das Risiko im oberen ALARP-Bereich, sollen Maßnahmen in Betracht gezogen werden, um das Risiko weiter zu reduzieren. Die Maßnahmen sollten sich an den bekannten und etablierten Techniken und den am Standort gegebenen Möglichkeiten orientieren.

Liegt das Risiko im unteren ALARP-Bereich, sind Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos in der Regel nicht erforderlich. Im Rahmen des Gutachtens werden entsprechend nur im Einzelfall Maßnahmen vorgeschlagen.

Liegt das Risiko mehr als einen Faktor 100 unterhalb des MEM-Kriteriums, ist es ohne weitere Maßnahmen allgemein akzeptabel. Die Grenze zwischen dem ALARP-Bereich und dem allgemein akzeptablen Risiko liegt für das individuelle Risiko bei einer Sterbehäufigkeit von 10^{-7} pro Person und Jahr (einmal in 10 Millionen Jahren). Dies entspricht etwa dem Risiko durch Blitzschlag zu sterben /1.10/.

Dieser grüne Bereich erstreckt sich sinnvollerweise ebenfalls über eine Größenord-



nung der Risikowerte, da Risikowerte, die mehr als einen Faktor 1000 unterhalb des hier definierten Grenzwertes für das individuelle Risiko liegen, jenseits fast aller bekannten Risiken liegen. Entsprechend kann die Abbildung 2.4.4.1 nach unten um einen blauen Bereich erweitert werden, in dem das Risiko vernachlässigbar ist. Der einzige bekannte Wert für das individuelle Risiko, der sich nach /1.10/ noch diesem Bereich zuordnen lässt, ist die Sterbehäufigkeit durch einen Meteoriteneinschlag.

Bei der Bewertung der individuellen und kollektiven Risiken wird entsprechend zwischen den fünf in Tabelle 2.4.4.1 genannten Bereichen unterschieden.

Da Sachschäden hier in ihrer Schwere gegenüber Personenschäden vernachlässigbar sind, werden diese in der Regel nicht weiter bewertet und in den Detailergebnissen im Anhang nicht dargestellt.

Tabelle 2.4.4.1: Risikobereiche für das individuelle und kollektive Risiko nach /2.1/ erweitert um einen Bereich für vernachlässigbares Risiko.*

Individuelles Risiko (Sterbehäufigkeit pro Person und Jahr)	Kollektives Risiko (Sterbehäufigkeit pro Jahr)	Bewertung	
$> 10^{-5}$	$> 10^{-3}$ oder standortspezifisch	Roter Bereich: Risiko inakzeptabel - Maßnahmen sind einzuleiten und deren Nutzen nachzuweisen	
10^{-6} bis 10^{-5}	10^{-4} bis 10^{-3} oder standortspezifisch	Oranger Bereich: Risiko tolerierbar - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	
10^{-7} bis 10^{-6}	10^{-5} bis 10^{-4} oder standortspezifisch	Gelber Bereich: Risiko tolerierbar - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich	
10^{-8} bis 10^{-7}	10^{-6} bis 10^{-5} oder standortspezifisch	Grüner Bereich: Risiko allgemein akzeptabel	
$< 10^{-8}$	$< 10^{-6}$ oder standortspezifisch	Blauer Bereich: Risiko vernachlässigbar	

* Für Szenarien, bei denen pro Ereignis mit einer großen Anzahl von Toten zu rechnen ist, sind die Erläuterungen in Kapitel 2.4.3 zu beachten.

Abbildung 2.4.4.2 veranschaulicht die Risikobereiche für das individuelle Risiko noch einmal, indem für die einzelnen Risikobereiche Beispiele für Tätigkeiten und Gefahren genannt werden. Zusätzlich wird in Abbildung 2.4.4.2 auch die jährliche Fahrleistung in Kilometern aufgeführt, bei der man als Kraftfahrer im deutschen Straßenverkehr die jeweiligen Grenzwerte zwischen den Risikobereichen überschreitet. Man erkennt, dass bereits ab einer sehr geringen Fahrleistung von 3000km pro Jahr der hier definierte inakzeptable Bereich erreicht wird. Da sehr viele



Tätigkeiten mit ihrem Risiko in den inakzeptablen Bereich fallen, wurde dieser in Abbildung 2.4.4.2 noch weiter untergliedert.

Farbe	Sterberisiko pro Person pro Jahr	Symbol / Bezeichnung	Beispiele für Sterberisiken	
			Kfz im Straßenverkehr (Fahrleistung pro Jahr) /1.4/	Andere Beispiele /1.10/
	10^{-3}	- inakzeptabel	300.000 km	Bergsteigen
	10^{-4}		30.000 km	Hausarbeit
	10^{-5}		3.000 km	Arbeitsunfall
	10^{-6}		300 km	Gebäudebrand
	10^{-6}	+ tolerierbar	300 km	Blitzschlag
	10^{-7}	++ tolerierbar	30 km	Erdbeben
	10^{-8}	+++ allgemein akzeptabel	3 km	Meteorit
	10^{-8}	≈ 0 vernachlässigbar		

Abbildung 2.4.4.2: Risikobereiche und Beispiele für das individuelle Sterberisiko.

2.4.5 Grenzwerte für Schäden an Öl- und Gasleitungen

Akzeptierte Grenzwerte für Schäden an Öl- und Gasleitungen finden sich in der DIN EN ISO 16708 /2.3/. Abhängig von der Art des transportierten Fluides, der Bevölkerungsdichte in der Umgebung der Leitung, dem Druck innerhalb der Leitung und dem Durchmesser der Leitung werden die maximal akzeptierten Versagenshäufigkeiten definiert. Diese beziehen sich auf ein Jahr und einen Kilometer der Leitung.

In Abbildung 2.4.5.1 sind die maximal akzeptierten Versagenshäufigkeiten pro Jahr und Leitungskilometer in Abhängigkeit vom Druck und Durchmesser der Leitung für die verschiedenen Sicherheitsklassen 1 bis 4 dargestellt. Die Sicherheitsklassen



reichen von gering (1) an Orten mit einer mittleren Bevölkerungsdichte bis sehr stark (4) an Orten mit einer sehr hohen Bevölkerungsdichte. Die ebenfalls dargestellte Klasse 5 entspricht dem individuellen Risiko für Personen die sich direkt über der Leitung aufhalten. Die daraus ermittelten maximal akzeptierten Versagenshäufigkeiten müssen noch für die Länge des jeweiligen betroffenen Streckenabschnitts angepasst werden.

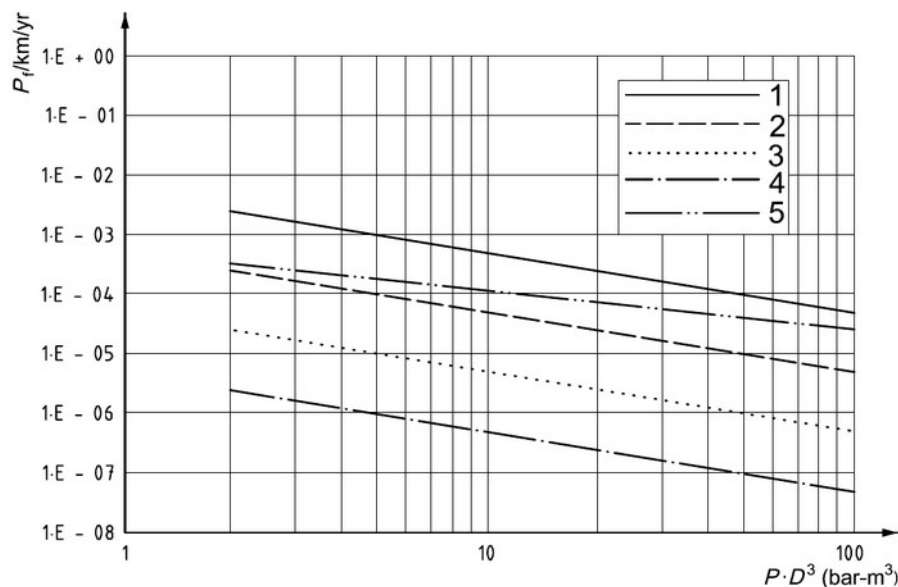


Abbildung 2.4.5.1: Maximal akzeptierte Versagenshäufigkeit für die Sicherheitsklassen 1 bis 4 und das individuelle Risiko (5) pro Kilometer und Jahr /2.3/.

Damit liegt eine Gefährdung nur vor, wenn der so definierte Grenzwert gemäß DIN EN ISO 16708 /2.3/ überschritten wird.

2.4.6 Risikomindernde Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen roten Bereich, ist ein Nachweis erforderlich, dass das Risiko durch geeignete Maßnahmen in den ALARP-Bereich verschoben werden kann. Gemäß /2.1/ kommen insbesondere folgende Maßnahmen in Frage, um das Risiko in den ALARP-Bereich zu verschieben:

- Installation eines Systems zur Erkennung von strukturellen Schäden an den Rotorblättern ,
- Wahl eines kleineren WEA-Typs,
- Verschiebung der WEA,



- Verlegung des betroffenen Schutzobjektes.

In allen Fällen ist durch eine erneute Berechnung nachzuweisen, dass das Risiko anschließend nicht mehr im roten inakzeptablen Bereich liegt /2.1/.

Liegt das Risiko im oberen orangen ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen. Zu den empfohlenen Maßnahmen zählen:

- Warnschilder
- Physische Barrieren wie Schranken sofern dies vor Ort umgesetzt werden kann.
- Einbau zusätzlicher Monitoring- und Überwachungssysteme,
- Aufklärung der direkten Nachbarn und Nutzer des umliegenden Bereichs,
- verkürzte Intervalle für Wartung und Inspektion

Die Auswahl der Maßnahmen sollte sich an den bekannten und etablierten Techniken und den am Standort gegebenen Möglichkeiten orientieren.

2.4.7 Addition von Risiken

Die Risiken der verschiedenen Komponenten sind grundsätzlich zu addieren und gemeinsam zu betrachten und zu bewerten.

Entlang von Verkehrswegen kann weiterhin in der Regel nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne oder alle Personen mehrere WEA passieren und damit einer Summe von Risiken ausgesetzt sind.

Dies spielt für den überregionalen Verkehr keine Rolle, da hier entweder direkt mit Grenzwerten verglichen wird, die auf die gefahrene Strecke bezogen sind (siehe Kapitel 2.4.2) oder bei Verwendung der pauschalen Grenzwerte dies gemäß /2.1/ begründet werden kann.

WEA an Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen können daher stets einzeln betrachtet werden. Hier sind benachbarte WEA nur dann von Interesse, wenn sich die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA und einer benachbarten WEA überlappen. Dasselbe gilt für die Risikobewertung von Schäden an Erdöl- und Erdgasleitungen, da auch hier die Grenzwerte auf die Leitungslänge bezogen werden.

Bei der Bewertung von Verkehrswegen des regionalen bzw. des Nahverkehrs werden die akzeptierten Grenzwerte für das individuelle bzw. kollektive Risiko herangezogen. Für Kreisstraßen, Gemeindestraßen und sonstige Verkehrswege ist daher zu prüfen, ob die übliche Nutzung dazu führt, dass die Gefährdungsbereiche mehrerer



WEA passiert werden. Diese Betrachtung kann aufgrund des regionalen Charakters dieser Verkehrswege dabei auf den zu betrachtenden Windpark beschränkt werden.

In einem verzweigten Verkehrswegenetz innerhalb eines Windparks gibt es eine Vielzahl von Routen, die nicht alle betrachtet werden können. Es ist hier ausreichend eine repräsentative Route zu wählen, die eine konservative Bewertung gewährleistet.

In der Praxis kann für Verkehrswege des regionalen bzw. des Nahverkehrs folgendermaßen vorgegangen werden:

- Im ersten Schritt werden die Risiken ausgehend von jeder einzelnen WEA und bezogen auf die verschiedenen Schutzobjekte ermittelt. Wenn einzelne Risiken hier bereits im oberen ALARP-Bereich liegen, werden die entsprechenden Maßnahmen abgeleitet (siehe auch Kapitel 2.4.4)
- Im zweiten Schritt wird eine repräsentative Route festgelegt und hierfür das Risiko ermittelt und bewertet. Eventuell sind hieraus weitere risikomindernde Maßnahmen abzuleiten.
- Auf den zweiten Schritt kann verzichtet werden, wenn die Summe der Risiken über alle WEA die jeweils anzusetzenden Grenzwerte für das individuelle bzw. kollektive Risiko nicht übersteigen.
- Aufgrund der geringen Eintrittshäufigkeit kann das Risiko durch Bauteilversagen von einer einzelnen WEA für einen individuellen Fußgänger im Allgemeinen keine unzulässigen Werte erreichen. In diesen Fällen reicht es daher aus, das Risiko durch Bauteilversagen für die WEA zu ermitteln, die im zweiten Schritt für das Risiko entlang der repräsentativen Route relevant sind.

2.5 Gültigkeit der Ergebnisse

Die für die Risikobewertung erforderliche Häufigkeitsverteilung von Blattbruchstücken in der Umgebung der WEA hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind neben den WEA-Daten (Koordinaten, WEA-Typ, Nabenhöhe, Nennleistung, Betriebsweise der WEA) und die Windbedingungen (Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, sektorielle Weibull-Parameter der Windgeschwindigkeitsverteilung). Weiterhin ist die Risikobewertung abhängig von der Aufenthaltshäufigkeit und dem Bewegungsmuster von Personen im Umfeld der WEA.

Jede Änderung dieser Randbedingungen erfordert daher eine Neubewertung des Risikos.

Für alle Parameter, die einen Einfluss auf die Auftreffpunkte der Blattbruchstücke haben, lassen sich keine pauschalen konservativen Werte festlegen /2.1/. Dies



bedeutet insbesondere, dass eine Reduzierung der Nabenhöhe nicht automatisch zu einer Reduzierung des Risikos führt.

2.6 Verwendete Begriffe und Symbole

Es ergeben sich folgende Begriffe und Symbole, die im Zusammenhang mit WEA im Gutachten verwendet werden:

Tabelle 2.6.1: Erläuterung der verwendeten Begriffe und Symbole.

Erläuterung der Begriffe		
	„geplante WEA“	WEA, deren Risiko im Rahmen des Gutachtens zu bewerten ist.
	„benachbarte WEA“	Alle weiteren WEA, die vom Auftraggeber übermittelt wurden. Es ist dabei unerheblich, ob sich einzelne benachbarte WEA ebenfalls in Planung oder Bau befinden. Entscheidend ist die Windparkkonfiguration, die als Vorbelastung für die geplanten WEA zu unterstellen ist. Alle benachbarten WEA sind in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.
	„Referenzpunkt der Winddaten“	Jeweiliger Standort, auf dessen Koordinaten sich die verwendeten Winddaten beziehen.
Farbliche Zuordnung der Symbole		
	Zu bewertende WEA: geplante WEA, deren Risiko bewertet wird.	
	Zu berücksichtigende WEA: Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA Einfluss auf das Risiko im Gefährdungsbereich der zu bewertenden WEA () nehmen bzw. aufgrund der Nutzung der Schutzobjekte innerhalb des Windparks potentiell zu berücksichtigen sind.	
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA und ihrer Lage im Windpark nicht bei der Bewertung des Risikos der zu bewertenden WEA () zu berücksichtigen sind. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in Abbildung 3.3.1 dargestellt.	
	Referenzpunkte der Winddaten.	
	Referenzpunkt der Winddaten auf den Koordinaten einer (in diesem Fall geplanten) WEA.	



3 Eingangsdaten

3.1 Ausgangssituation

Am Standort Vellahn (Mecklenburg-Vorpommern) plant der Auftraggeber die Errichtung von neun Windenergieanlagen (WEA 8 - 16).

Am Standort befinden sich sieben weitere benachbarte WEA (WEA 1 - 7).

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration und die Schutzobjekte sind in Tabelle 3.3.1 bzw. Abbildung 3.3.1 dargestellt.

In der Umgebung befindet sich die Erdgasleitung „Fernleitung NEL“ der Gascade Gastransport GmbH, welche im Rahmen dieser Untersuchung vom Auftraggeber als Schutzobjekt definiert wurde (siehe Abbildung 3.3.1).

Im Folgenden wird eine Risikoanalyse der WEA 8 - 16 hinsichtlich einer Gefährdung durch Bauteilversagen durchgeführt.

3.2 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /3.1/ entnommen und sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt.

Die vorliegenden Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Vellahn vorausgesetzt.

Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen. Die Weibull-Parameter werden dabei soweit notwendig auf die jeweilige Nabenhöhe der WEA umgerechnet.

Tabelle 3.2.1: Winddaten am Standort (f: Häufigkeit der Windrichtung; A und k: Skalen- und Formparameter der Weibull-Verteilung).

Wind-Datensatz Nr.	Parameter	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 32)	
1	A [m/s]	6.26	6.71	7.45	7.78	7.77	7.80	8.12	8.81	9.51	9.07	7.68	6.11	Höhe über Grund [m]	175
	k [-]	2.256	2.432	2.584	2.756	2.771	2.518	2.607	2.889	2.846	2.525	2.346	2.334	Ost	32629429
	f (100%=1)	0.038	0.042	0.052	0.073	0.090	0.078	0.067	0.093	0.153	0.161	0.103	0.050	Nord	5919595

3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

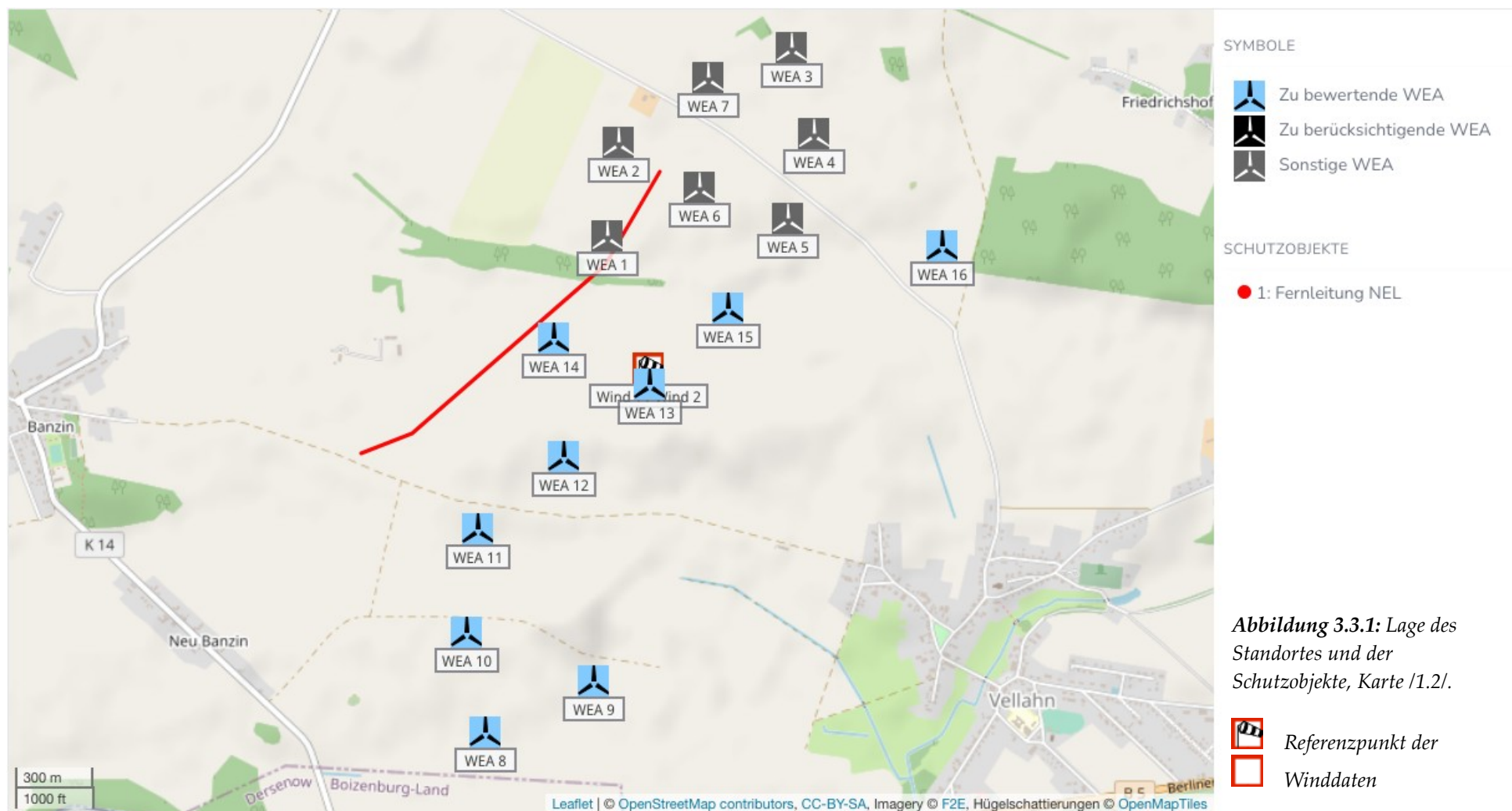
Tabelle 3.3.1: Windparkkonfiguration.

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Hersteller WEA-Typ	P _N [MW]	NH [m]	RD [m]	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 32)		Wind-Datensatz Nr.
							East	North	
	1	B_WEA 1	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32629256	5920099	---
	2	B_WEA 2	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32629289	5920459	---
	3	B_WEA 3	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32629945	5920839	---
	4	B_WEA 4	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32630042	5920512	---
	5	B_WEA 5	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32629950	5920181	---
	6	B_WEA 6	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32629607	5920296	---
	7	B_WEA 7	Siemens Gamesa SG 6.6-170 Mode AM0	6.60	165.00	170.00	32629630	5920714	---



	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Hersteller WEA-Typ	P _N [MW]	NH [m]	RD [m]	Koordinaten (UTM ETRS89/WGS84 Zone 32)		Wind- Datensatz Nr.
							East	North	
	8	WEA 1	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32628836	5918178	1
	9	WEA 2	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32629248	5918388	1
	10	WEA 3	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32628755	5918563	1
	11	WEA 4	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32628788	5918959	1
	12	WEA 5	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32629112	5919245	1
	13	WEA 6	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32629435	5919534	1
	14	WEA 7	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32629059	5919699	1
	15	WEA 8	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32629730	5919832	1
	16	WEA 9	Vestas V172-7.2 Mode PO7200	7.20	175.00	172.00	32630549	5920097	1

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.3.1.





3.4 Standortspezifische Grenzwerte für die Erdgasleitung

Die zugrunde zu legende Sicherheitsklasse ergibt sich aus der Fluid-Kategorie und der Bevölkerungsdichte (Orts-Klasse). Gemäß Anhang B der ISO 13623 /2.4/ ist die Bevölkerungsdichte für Streckenabschnitte von 1.5km Länge und einer Gesamtbreite von 400m zu ermitteln. Bei der Ermittlung der Bevölkerungsdichte sind neben Wohngebäuden auch Gebäude zu berücksichtigen, in denen Personen über einen längeren Zeitraum zusammenkommen wie Schulen, öffentliche Einrichtungen, Krankenhäuser und Industriegebiete.

Da sich im relevanten Umkreis der geplanten WEA vereinzelte Wohngebäude oder Ähnliches befinden, kann die Orts-Klasse 2 angenommen werden (population density of less than 50 persons per square kilometre). Erdgas ist gemäß DIN EN ISO 16708 /2.3/ der Fluid-Kategorie D oder E zuzuordnen. Für diese Kombination ist gemäß DIN EN ISO 16708 die Sicherheitsklasse 1 (low) ausreichend und wurde entsprechend zugrunde gelegt.

Tabelle 3.4.1: Akzeptierte Versagenshäufigkeiten

Leitung	Sicherheits- klasse	Nennweite [m]	Nenndruck [Pa]	Akzeptierte Versagenshäufigkeit/km
Fernleitung NEL	Low	1.4	100	$1.82 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 54 880 Jahren)

3.5 Risikoreduzierende Maßnahmen

Die im Anhang A dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine risikoreduzierenden Maßnahmen.

4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Standortbesichtigung

Eine Standortbesichtigung ist im Rahmen der Bewertung des Risikos durch Bauteilversagen nicht durch ein Regelwerk vorgeschrieben oder geregelt. Eine Standortbesichtigung empfiehlt sich, wenn die Situation vor Ort nicht ausreichend bekannt ist.

Im Rahmen der Standortbesichtigung werden die potentiellen Schutzobjekte vor Ort dokumentiert und besichtigt. Es werden Informationen zur Beschaffenheit der Schutzobjekte, wie z.B. Straßenbelag, Geschwindigkeitsbeschränkungen und



Fahrverboten bei Verkehrswegen aufgenommen.

Die Standortbesichtigung dient nicht zur Bestimmung der Aufenthaltshäufigkeit von Personen in oder auf Schutzobjekten, der Bestimmung der Frequentierung von Verkehrswegen oder der Verifizierung der Windparkkonfiguration.

Die Schutzobjekte vor Ort wurden vom Auftraggeber festgelegt (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund der vorhandenen Datenlage zu den Schutzobjekten wurde auf eine Standortbesichtigung verzichtet.

4.2 Ermittlung der Gefährdungsbereiche

Gemäß Kapitel 2.1 ergeben sich für die einzelnen WEA die in Tabelle 4.2.1 aufgeführten zu betrachtenden Schutzobjekte für Bauteilversagen.

Tabelle 4.2.1: Zu betrachtende Schutzobjekte.

Lfd.Nr. WEA	Schutzobjekte im potentiellen Gefährdungsbereich	Gefährdung durch		
		Blattbruch	Turmfall	Gondel- verlust
8	---	---	---	---
9	---	---	---	---
10	---	---	---	---
11	Fernleitung NEL	X	---	---
12	Fernleitung NEL	X	---	---
13	Fernleitung NEL	X	---	---
14	Fernleitung NEL	X	X	X
15	Fernleitung NEL	X	---	---
16	---	---	---	---

Innerhalb der potentiellen Gefährdungsbereiche der WEA 8 – 10 und 16 befinden sich keine der definierten Schutzobjekte. Eine weitere Betrachtung im Rahmen der Risikobewertung ist daher nicht erforderlich.

Bei den WEA 1 - 7 handelt es sich um benachbarte WEA, deren Gefährdung im Rahmen dieses Gutachtens nicht zu bewerten ist.

Wenn die Gefährdungsbereiche einzelner WEA sich entlang einer Leitung überlappen, wird das Risiko der relevanten benachbarten WERA entsprechend berücksichtigt.



4.3 Schadenshäufigkeiten an den Transportfernleitungen/bergbaulichen Anlagen

Tabelle 4.3.1 zeigt die ermittelten Schadenshäufigkeiten für die erdverlegten Leitungen. Überschreitungen im Vergleich zu den akzeptierten Versagenshäufigkeiten gemäß Kapitel 3.4 sind jeweils fett gedruckt.

Ein Risiko durch Bauteilversagen ist stets entsprechend der in Kapitel 2.1 aufgeführten Eintrittshäufigkeiten zu unterstellen. Sind gemäß Kapitel 2.4.7 Risiken verschiedener WEA zu addieren, wird die Bewertung der addierten Risiken in Tabelle 4.3.1 gesondert aufgeführt.

Tabelle 4.3.1: Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken für Sachschäden am Standort Vellahn.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Potentielle Schadenshäufigkeiten	Akzeptierte Versagenshäufigkeit (bezogen auf den betroffenen Streckenabschnitt)
11	Fernleitung NEL	0	1.50*10 ⁻⁵ (einmal in 66 251 Jahren)
12	Fernleitung NEL	0	
13	Fernleitung NEL	0	
14	Fernleitung NEL	5.49*10⁻⁵ (einmal in 18 207 Jahren)	
15	Fernleitung NEL	0	

Die potentiellen Gefährdungsbereiche der benachbarten WEA überlappen mit dem standortspezifischen Gefährdungsbereich der WEA 14, sodass eine Betrachtung der addierten Risiken notwendig wäre. Da es bereits durch die Einzelrisiken der WEA 14 zu einer Überschreitung der Grenzwerte kommt, werden anstelle einer Addition direkt risikoreduzierende Maßnahmen in Kapitel 5 gefordert.

Details zu den Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.

5 Weitere Maßnahmen

Die akzeptierte Versagenshäufigkeit wird für die Erdgasleitung durch die WEA 14 überschritten.

Die hier durchgeführten Berechnungen bewerten nicht, inwieweit die einzelnen Bruchstücke mit ihrer Auftreffenergie in der Lage sind, die erdverlegte Leitung zu beschädigen oder zu zerstören. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass es in jedem Fall zu einem Versagen der Leitung kommt. Ermittelt werden also potentielle



Schadenshäufigkeiten und keine tatsächlichen Versagenshäufigkeiten.

Die damit verbundenen Konservativitäten lassen sich nur sehr schwer quantifizieren. Es wird aber davon ausgegangen, dass die Versagenshäufigkeit etwa um eine Größenordnung, also ca. um den Faktor zehn, überschätzt wird.

Diese Einschätzung deckt sich mit den Forderungen des Gasleitungsbetreibers, der in /3.2/ eine grundsätzlich einzuhaltenden Abstand von 35m nennt, während der hier vorliegende Mindestabstand für die WEA 14 ca. 80m beträgt und den Grenzwert aus /3.2/ damit deutlich überschreitet.

Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, im Rahmen einer Detailanalyse mit weiteren Hintergrundinformationen über z.B. die Vulnerabilität der Leitung das Risiko genauer einzugrenzen, um ein positiven Nachweis für die WEA 14 zu erbringen.

Solange ein solcher weiterer Nachweis nicht erbracht wird bzw. solange eine Zustimmung des Gasleitungsbetreiber zum Bau der WEA auf Basis des hier eingehaltenen Mindestabstandes nach /3.2/ nicht vorliegt, empfehlen wir für die WEA 14 den Einbau eines Condition Monitoring Systems und eine Verdopplung der Wartungsintervalle zur Risikoreduzierung.

6 Zusammenfassung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Bauteilversagen ausgehend von den stillstehenden (trudelnden) bzw. in Betrieb befindlichen WEA zu betrachten und zu bewerten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Risikoanalyse der WEA 8 - 16 hinsichtlich einer Gefährdung durch Bauteilversagen zusammengefasst.

Als Schutzobjekt wurde die Erdgasleitung „Fernleitung NEL“ der Gascade Gastransport GmbH in der Nachbarschaft der WEA definiert.

Eine mögliche Ursache für ein Umstürzen der WEA, einen Absturz des Rotors, einen Absturz der Gondel oder den Verlust des ganzen bzw. Teilen eines Rotorblattes ist ein Brand der WEA. Das durch einen Brand hierdurch verursachte Risiko ist daher in der Risikobetrachtung für das Bauteilversagen enthalten und mit abgedeckt. Nicht mit abgedeckt ist das durch die Ausbreitung von brennenden Partikeln und Trümmern in der Umgebung bestehende Brandrisiko.

Die abschließende Bewertung des Risikos ist in Tabelle 6.1 für alle zu bewertenden WEA aus Tabelle 3.3.1 bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt.



Maßnahmen, die zur Verringerung des Risikos umgesetzt werden sollten, werden in Tabelle 6.1 in der Spalte „Maßnahmen zur Risikoreduzierung“ aufgeführt. Eine genauere Erläuterung der Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5.

Tabelle 6.1: *Bewertung des Risikos durch Bauteilversagen.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Risikobewertung	Maßnahmen zur Risikoreduzierung
8	Kein Schutzobjekt im potentiellen Gefährdungsbereich		
9	Kein Schutzobjekt im potentiellen Gefährdungsbereich		
10	Kein Schutzobjekt im potentiellen Gefährdungsbereich		
11	Fernleitung NEL	vernachlässigbar	---
12	Fernleitung NEL	vernachlässigbar	---
13	Fernleitung NEL	vernachlässigbar	---
14	Fernleitung NEL	überschritten	Condition Monitoring System Verdopplung der Wartungsintervalle
15	Fernleitung NEL	vernachlässigbar	---
16	Kein Schutzobjekt im potentiellen Gefährdungsbereich		

Vor dem Hintergrund der konservativen Betrachtung der Schadensfälle und bei Umsetzung der geforderten Maßnahmen zur Risikoreduzierung wird das Risiko für die Fernleitung NEL durch die geplante WEA 14 insgesamt als tolerierbar eingestuft.

Die risikomindernden Maßnahmen können entfallen, wenn eine detailliertere Risikobetrachtung für die WEA 14 einen positiven Nachweis erbringt bzw. wenn der Gasleitungsbetreiber aufgrund der eingehaltenen Mindestabstände gemäß /3.2/ dem Bau der WEA 14 uneingeschränkt zustimmt.



7 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage	
RD	Rotordurchmesser	
NH	Nabenhöhe	
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989	
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion	
WGS84	World Geodetic System 1984	
ü. NN	über Normalnull	
MEM	Minimale endogen Sterblichkeit	
Kfz	Kraftfahrzeug	
A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
h	Höhe	[m]

8 Literaturangaben

Allgemein

- /1.1/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik Heft V 291, Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Bergisch Gladbach, August 2017.
- /1.2/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.3/ U.S. Geological Survey (USGS); EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global.
- /1.4/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.
- /1.5/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- /1.6/ HSE, Health and safety Executive. (n.d.); Risk analyses or 'predictive' aspects of comah safety reports guidance for explosives sites - The COMAH Safety Report Process for Predictive Assessment of Explosives Sites, downloaded 2014-08-21; Retrieved from <http://www.hse.gov.uk/comah/>



- /1.7/ C. J. Faasen, P. A. L. Franck, A. M. H. W. Taris; Handboek Risicozonering Windturbines, Eindversie, 3e geactualiseerde versie mei 2013, en Herziene versie 3.1 september 2014; Nederland.
- /1.8/ T. Hahm, J. Kröning; Rotorblattversagen – Gefährdungsanalyse für die Umgebung von Windenergieanlagen; 6. Deutsche Windenergie-Konferenz DEWEK 2002.
- /1.9/ J. Kesenheimer; Grundlagenforschung zur Restnutzungsdauer von Windenergieanlagen; Technische Universität Hamburg-Harburg, April 2003.
- /1.10/ Dirk Proske; Katalog der Risiken, 3. vollständig überarbeitete Auflage; Würenlingen 2021.

Normen

- /2.1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; Technical Report; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; April 2022.
- /2.2/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.
- /2.3/ DIN EN ISO 16708; Erdöl- und Erdgasindustrie - Rohrleitungstransportsysteme - Zuverlässigkeitsanalysen (ISO 16708:2006); Englische Fassung EN ISO 16708:2006; Deutsches Institut für Normung e.V., August 2006.
- /2.4/ ISO 13623; Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems; ISO 13623:2000(E), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- /2.5/ International Electrotechnical Commission (IEC); Wind energy generation systems – Part 31: Siting Risk Assessment; IEC TS 61400-31 ED1, Committee Draft (CD), 2022-04-29.

Projektspezifisch

- /3.1/ Denker & Wulf AG; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt 220321_Vellahn_sl; 15.02.2023; Sehestedt, Deutschland.
- /3.2/ GASCADE Gastransport GmbH; Windpark Vellahn – Ihr Zeichen 277-2023 mit Schreiben vom 19.04.2023 – Unser Aktenzeichen: 13.00.00.212.00068.21; Vorgangsnummer: 2023.01530; 08.05.2023; Kassel, Deutschland.



Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Bauteilversagen

A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken

In der Abbildung A.1.1 sind die daraus für die Umgebung der WEA resultierenden Auftreffhäufigkeiten pro Rasterfläche (25m^2) und Jahr dargestellt.

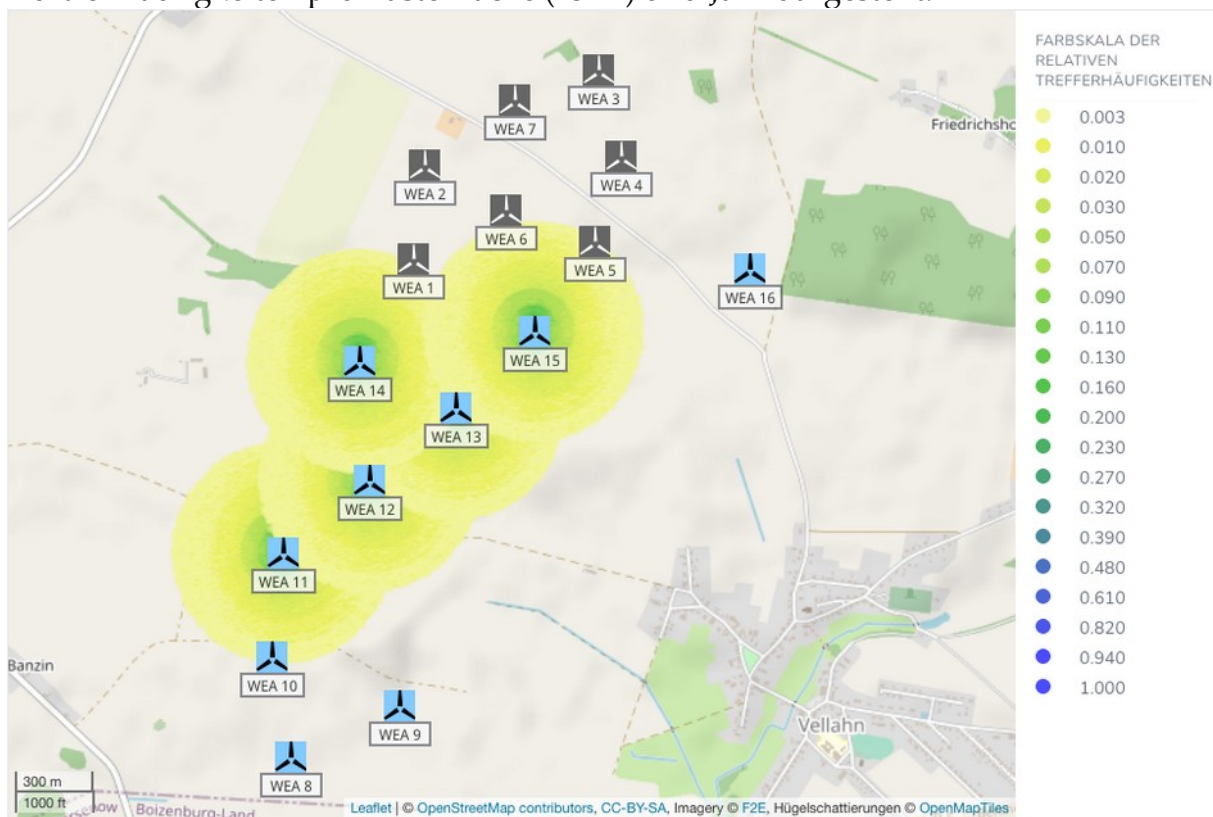


Abbildung A.1.1: Trefferhäufigkeiten von Blattbruchstücken pro Rasterfläche (25m^2) in einer Millionen Jahren in der Umgebung der WEA 11 - 15 am Standort Vellahn (Karte /1.2/).

Tabelle A.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Bruchstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

Tabelle A.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Blattbruchstücke am Standort Vellahn.

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
11	423.5
12	425.0
13	427.7
14	427.1
15	422.3

A.2 Schadenshäufigkeiten

Eine Gefährdung durch Blattbruch, Turmversagen oder Verlust der Gondel bzw. des Rotors ist gemäß Kapitel 4.2 zu unterstellen. Es ergeben sich die in Tabelle A.2.1 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

Im vorliegenden Fall wird davon ausgegangen, dass es bei jedem der betrachteten Versagensszenarien zu einem Schadensfall kommt.

Tabelle A.2.1:: Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken für Sachschäden am Standort Vellahn durch Blattbruch, Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Auftrittshäufigkeit pro Jahr			Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken für Sachschäden
		Blattbruch	Turmversagen	Verlust von Gondel oder Rotor	
11	Fernleitung NEL	0	0	0	---
12	Fernleitung NEL	0	0	0	---
13	Fernleitung NEL	0	0	0	---
14	Fernleitung NEL	$3.87 \cdot 10^{-5}$	$1.23 \cdot 10^{-5}$	$3.89 \cdot 10^{-6}$	$5.49 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 18 207 Jahren)
15	Fernleitung NEL	0	0	0	---