



Gutachten zu Risiken durch Bauteilversagen an Windenergieanlagen für den Standort Bornhausen

Referenz-Nummer: F2E-2017-WND-110
Revision 0 - gekürzte Fassung

Auftraggeber:

wpd onshore GmbH & Co. KG
Franz-Lenz-Straße 4
49084 Osnabrück

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

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

Verfasser:

Dipl.-Met. Nicole Stoffels , Sachverständige, Hamburg, 12.01.2018

Gepüft:

Dr-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 12.01.2018

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680-0 Fax: 040 53303680-79
Nicole Stoffels: stoffels@f2e.de oder 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 Grenzwerte.....	3
3 Randbedingungen.....	5
3.1 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	5
3.2 Winddaten am Standort.....	8
3.3 Aufenthaltshäufigkeiten.....	9
4 Durchgeführte Untersuchungen.....	10
4.1 Abriss Blatt.....	10
4.1.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten.....	10
4.2 Turmversagen.....	14
4.3 Verlust der Gondel bzw. des Rotors.....	14
4.4 Schadenshäufigkeiten.....	14
4.5 Bewertung des Risikos.....	16
5 Zusammenfassung.....	17
6 Formelzeichen und Abkürzungen.....	17
7 Literaturangaben.....	18



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.

Dabei werden in einem ersten Schritt die Häufigkeiten und Flugweiten einzelner Blätter bzw. Blattbruchstücke sowie die Häufigkeit für Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors ermittelt. Für definierte Schutzobjekte werden anschließend die Trefferhäufigkeiten berechnet und die daraus entstehenden Risiken bewertet.

2 Grundlagen

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/. Hier werden folgende Versagenshäufigkeiten pro WEA pro Jahr genannt:

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

Tabelle 2.1: Versagenshäufigkeiten an WEA pro Anlage und Jahr sowie gemeldete und bestätigte Wurfweiten nach /1/.

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

2.1 Grenzwerte

Für Personenschäden findet sich in der Literatur das Konzept der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /2/. Die endogene Sterblichkeit erfasst das Sterberisiko durch technologische Faktoren bei Sport, Heimwerkertätigkeiten, durch Arbeitsmaschinen oder den Verkehr. Krankheiten oder angeborene Missbildungen werden nicht betrachtet.

Die minimale endogene Sterblichkeit in entwickelten Ländern findet sich in der Gruppe der fünf bis 15jährigen. Sie liegt bei $2 \cdot 10^{-4}$ Todesfälle pro Person und Jahr.



Eine neue Technologie sollte diese endogene Sterblichkeit nicht nennenswert erhöhen. In /2/ wird daher gefordert, dass die mit Einführung einer 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 /8/. 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.

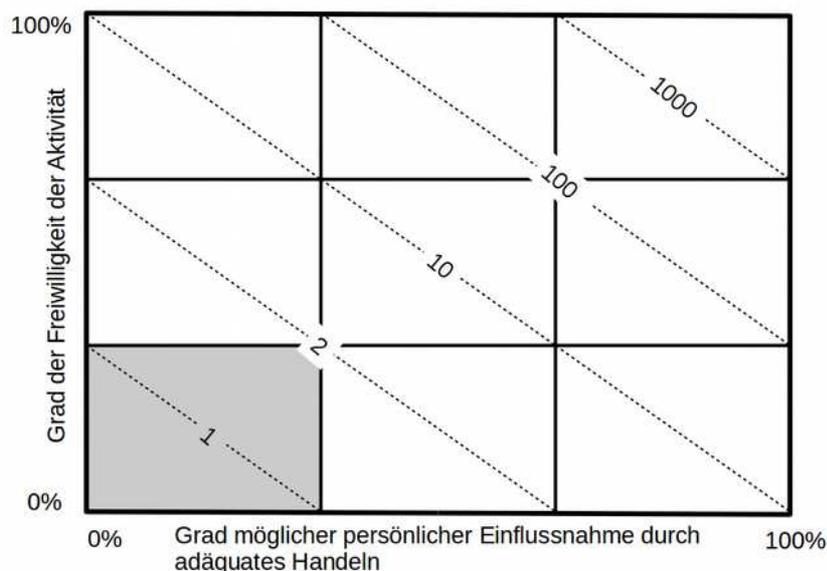


Abbildung 2.1.1: Akzeptiertes Todesfallrisiko pro 100 000 Personen /8/. Grau hinterlegter Bereich entspricht dem MEM-Kriterium /4/.

Betrachtet man das Risiko in der Nähe einer WEA durch Bauteilversagen an der WEA 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 Gefährdung durch Bauteilversagen an einer WEA nur vor, wenn der so definierte Grenzwert überschritten wird.

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, muss das daraus resultierende Kollektivrisiko bewertet werden. Entsprechende Grenzwerte für das Kollektivrisiko sind jedoch schwer zu definieren. Für frequentierte Verkehrswege kann man davon ausgehen, dass der Grenzwert für das Kollektivrisiko etwa zwei Größenordnungen günstiger ausfällt als das MEM-Kriterium. Bei schwach frequentierten Verkehrswegen, wie land- und forstwirtschaftlichen Wegen, kann das Kriterium für das Kollektivrisiko als identisch mit dem MEM-Kriterium angesetzt werden.

Im Folgenden wird abdeckend in allen Fällen als Grenzwert das MEM-Kriterium zugrunde gelegt.

Damit kann bei einem Vergleich mit dem MEM-Kriterium in der Umgebung von frequentierten Verkehrswegen jede WEA für sich und unabhängig von einer Vorbelastung bewertet werden.

In der Nähe von schwach frequentierten Verkehrswegen, wie land- und forstwirtschaftlichen Wegen, sind entsprechende kumulierte Risiken zu betrachten, wenn mehrere WEA zur Gefährdung beitragen. Praktisch liegt man in der Regel aber bei schwach frequentierten Verkehrswegen soweit unterhalb des MEM-Kriteriums, dass diese Effekte vernachlässigbar sind und nicht explizit betrachtet werden müssen. Sollte dies im Einzelfall dennoch erforderlich sein, wird dies in den detaillierten Berechnungsergebnissen dargestellt und berücksichtigt.

Da Sachschäden hier in ihrer Schwere gegenüber Personenschäden vernachlässigbar sind, erübrigt sich in der Regel eine gesonderte Bewertung von Sachschäden.

3 Randbedingungen

3.1 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Am Standort Bornhausen (Niedersachsen) plant der Auftraggeber die Errichtung von sechs Windenergieanlagen (WEA 1 - 6).

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind in Tabelle 3.1.1 bzw. Abbildung 3.1.1 dargestellt.

In der Umgebung befinden sich die Bundesautobahn A7 und die Bundesstraße B243, welche im Rahmen dieser Untersuchung als Schutzobjekte definiert wurden.

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89 Zone 32)		Hersteller	WEA-Typ	P _N [MW]	RD [m]	NH [m]
			Rechts	Hoch					
	1	WEA_01	578251	5751501	Vestas	V150	4.2	150.0	145.0
	2	WEA_02	578651	5751253	Vestas	V150	4.2	150.0	166.0
	3	WEA_03	579101	5751094	Vestas	V150	4.2	150.0	166.0
	4	WEA_04	578225	5750896	Vestas	V150	4.2	150.0	145.0
	5	WEA_05	578571	5750352	Vestas	V150	4.2	150.0	166.0
	6	WEA_06	578772	5750804	Vestas	V150	4.2	150.0	166.0

Tabelle 3.1.1: Windparkkonfiguration.

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.1.1.

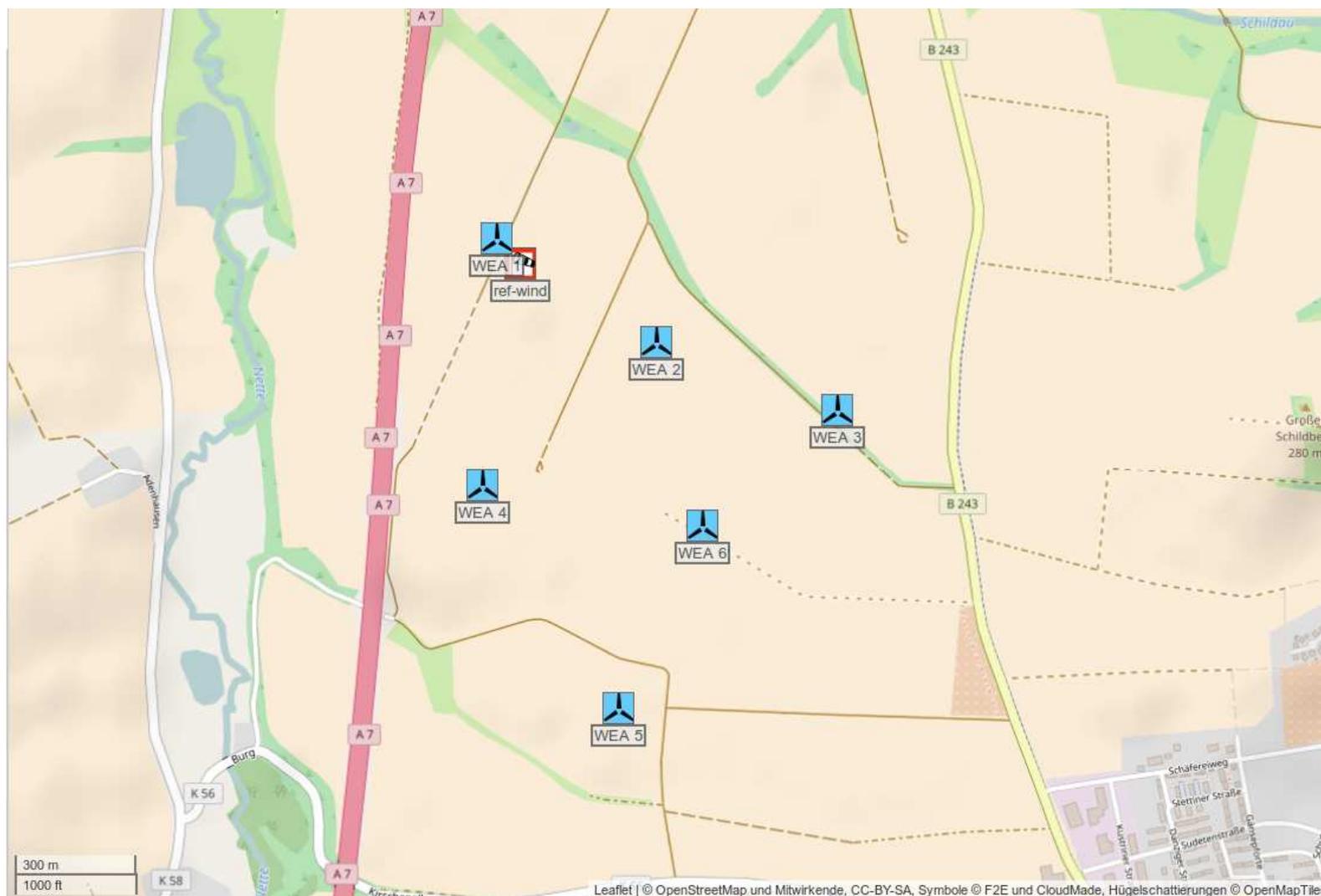


Abbildung 3.1.1:
Lage des Windparks,
Karte 15/.

-  betrachtete WEA
-  weitere WEA
-  Referenzpunkt der Winddaten



Die WEA 1 - 6 liegen in unmittelbarer Nähe zu den Schutzobjekten. Folgende Abstände wurden für die betreffenden WEA ermittelt:

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Schutzobjekt	Abstand [m]
	1	WEA_01	A7	225
			B243	1170
	2	WEA_02	A7	640
			B243	745
	3	WEA_03	A7	1095
			B243	290
	4	WEA_04	A7	230
			B243	1170
	5	WEA_05	A7	610
			B243	925
	6	WEA_06	A7	780
			B243	640

Tabelle 3.1.2: Abstände zu den Schutzobjekten.

Aus dem Vergleich mit den Wurfweiten entsprechend Tabelle 2.1 ergibt sich für die zu betrachtenden WEA:

- Eine Gefährdung durch Verlust der Gondel bzw. des Rotors ist für die WEA 1 - 6 nicht zu unterstellen.
- Eine Gefährdung durch ein Versagen des Turmes ist für die WEA 1 - 6 nicht zu unterstellen.
- Eine Gefährdung durch Abwurf eines ganzen Rotorblattes ist nicht zu unterstellen. Da die Wurfweiten für Blattbruchstücke jedoch deutlich größer sein können, ist eine Gefährdung durch Blattbruch für alle betrachteten WEA zu unterstellen.

3.2 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /6/ entnommen und sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt.

Die vorliegenden Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung auf Nabenhöhe der WEA am Standort Bornhausen vorausgesetzt.



Richtungssektoren	Relative Häufigkeit (100%=1)	Weibullverteilung	
		A	k
N	0.042	4.56	2.139
NNO	0.047	5.10	2.205
ONO	0.062	6.27	2.646
O	0.050	6.28	2.490
OSO	0.037	5.18	1.627
SSO	0.095	7.77	2.162
S	0.200	8.75	2.920
SSW	0.144	7.99	2.854
WSW	0.108	7.46	2.717
W	0.101	7.04	2.561
WNW	0.065	5.98	2.432
NNW	0.050	4.93	2.338
gesamt	1.001	7.14	2.307
Bezugswerte			
Koordinate des Referenzpunktes (UTM WGS84 Zone 32)	East	North	
	578310	5751441	
Höhe über Grund h	166m		

Tabelle 3.2.1: Winddaten am Standort.

Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen.

3.3 Aufenthaltshäufigkeiten

Nach /10/ wurde am Zählpunkt auf der A7 zwischen den Anschlussstellen Seesen/Harz und Rhüden/Harz eine Verkehrsbelastung von 56100 Kfz pro Tag ermittelt. Auf der B243 zwischen Seesen und Bornhausen existiert kein Zählpunkt. Es gibt jedoch einen Zählpunkt im weiteren Verlauf zwischen Bornhausen und Rhüden, der ersatzweise zugrunde gelegt wird. Danach ergibt sich eine Verkehrsbelastung von 5300 Kfz pro Tag für die B243.



4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Abriss Blatt

Entsprechend den Ergebnissen in Kapitel 3.1 wird im Folgenden eine Gefährdung durch Abriss größerer Blattfragmente sowie zusätzlich des ganzen Blattes unterstellt.

4.1.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

4.1.1.1 Auftreffhäufigkeiten pro Ereignis

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, so dass 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 4.1.1.1 ist eine beispielhafte Flugbahn visualisiert.

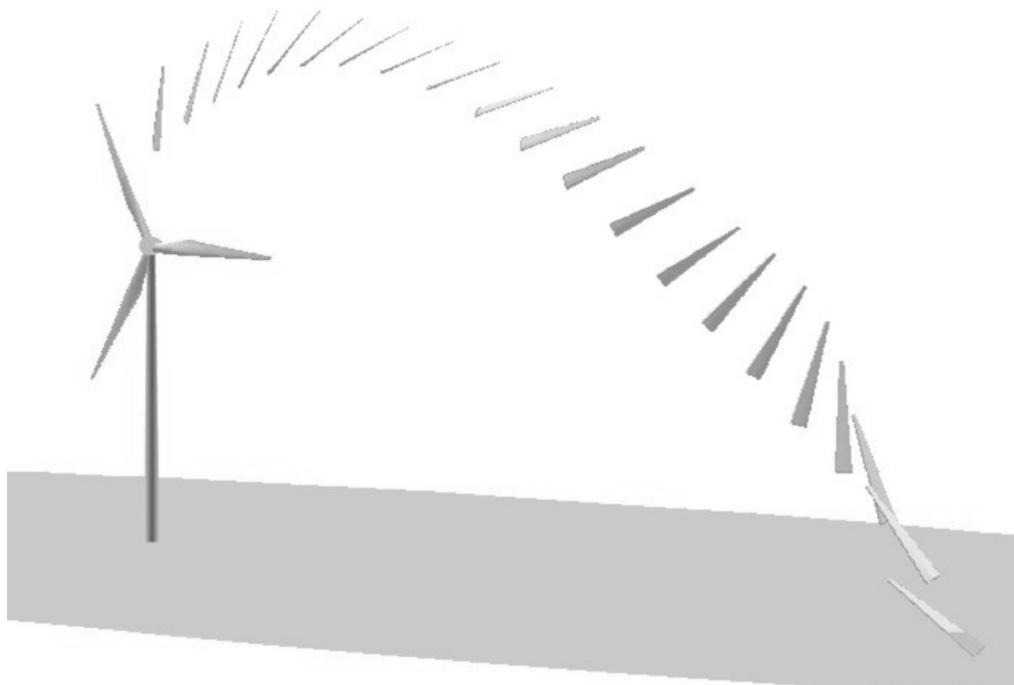


Abbildung 4.1.1.1: Beispielhafte Flugbahn eines Blattbruchstückes /3/.

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 Drehzahl-



verlauf unterstellt. Der Bruch wird in allen Fällen als glatter, plötzlicher Abriss modelliert, der während des Bruchvorgangs keine Energie verbraucht.

Im Unterschied zu /1/, 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.

In der Summe wurden ca. 5.5 Millionen Flugbahnen ausgewertet.

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/).
- Geländehöhe: unterschiedliche Geländehöhen wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 4.1.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Bruchstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf. Die Häufigkeitsverteilung der Flugweiten ist für die WEA vom Typ Vestas V150 4.2MW, NH 166m und Vestas V150 4.2MW, NH 145m in den Abbildungen 4.1.1.2 und 4.1.1.3 aufgetragen.

WEA Vestas V150 4.2MW, NH 166m	Maximale Flugweite [m]
Ganzes Blatt	146.0
größere Blattbruchstücke	356.5
WEA Vestas V150 4.2MW, NH 145m	Maximale Flugweite [m]
Ganzes Blatt	138.9
größere Blattbruchstücke	346.0

Tabelle 4.1.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Blattbruchstücke am Standort Bornhausen.

Die Maximalwerte von 356.5m bzw. 346.0m werden für ein Bruchstück von 30% der



Blattlänge erreicht.

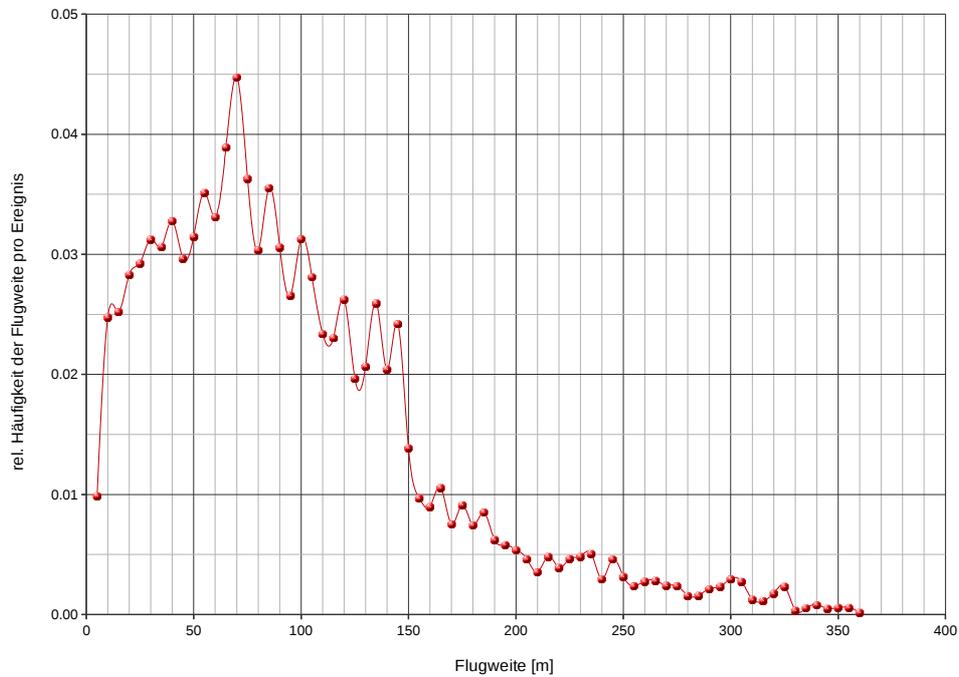


Abbildung 4.1.1.2: Häufigkeitsverteilung der Flugweiten von Blattbruchstücken für die WEA vom Typ Vestas V150 4.2MW, NH 166m.

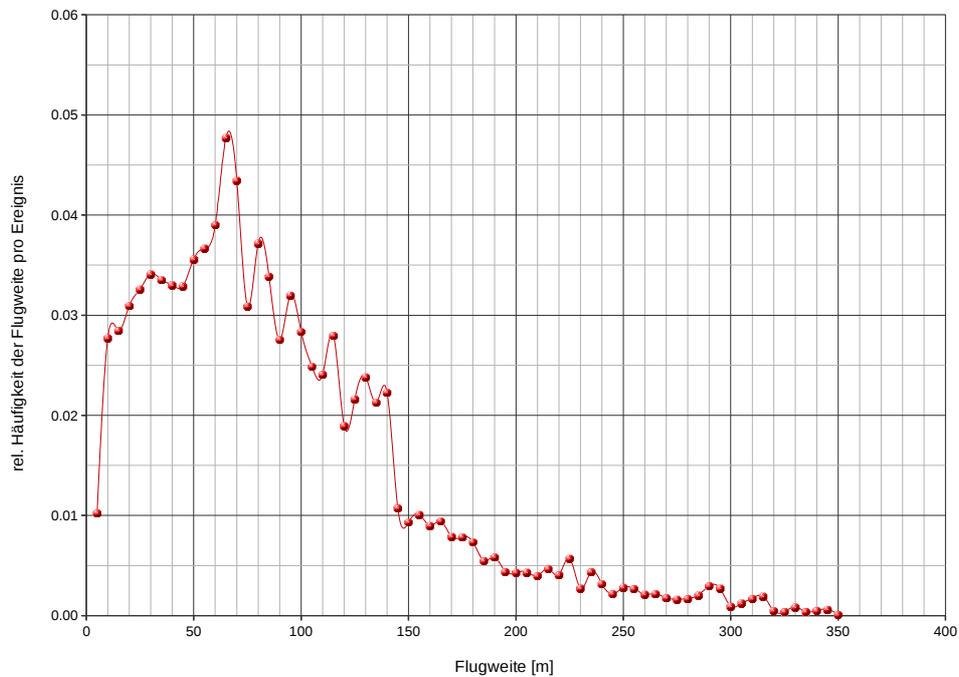


Abbildung 4.1.1.3: Häufigkeitsverteilung der Flugweiten von Blattbruchstücken für die WEA vom Typ Vestas V150 4.2MW, NH 145m.



4.1.1.2 Gesamthäufigkeit

Für die Ermittlung der Gesamthäufigkeit, dass ein Blattbruchstück auf einer Fläche von einem Quadratmeter in der Umgebung einschlägt, ist die Eintrittswahrscheinlichkeit von $8.4 \cdot 10^{-4}$ für einen Blattbruch pro WEA und pro Jahr nach Tabelle 2.1 mit in Betracht zu ziehen.

In der Abbildung 4.1.1.4 sind beispielhaft die daraus für die Umgebung der WEA 1 resultierenden Auftreffhäufigkeiten pro Quadratmeter und Jahr dargestellt. Erkennbar sind die größeren Auftreffhäufigkeiten quer zur Hauptwindrichtung.

Zur Auswertung wurden georeferenzierte Satellitenbilder aus Google Earth verwendet /9/.

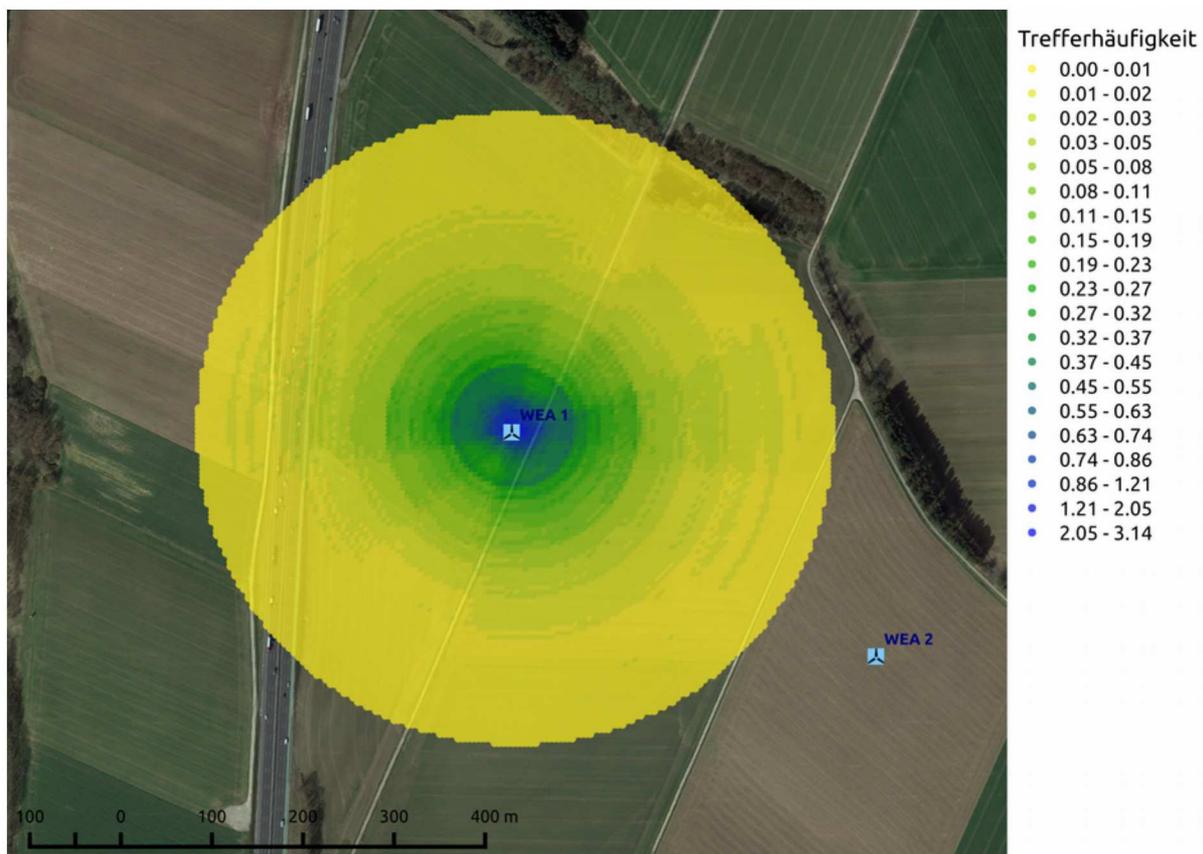


Abbildung 4.1.1.4: Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken pro Rasterfläche (25m²) in einer Millionen Jahren in der Umgebung der WEA 1 vom Typ Vestas V150 4.2MW, NH 145m am Standort Bornhausen (Satellitenbild /9/).

Die sich in der Summe für die Schutzobjekte ergebenden Häufigkeiten sind in Tabelle 4.1.1.2 dargestellt.



	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Schutzobjekt	Auftreffhäufigkeit eines Blattbruchstückes pro Jahr
✚	1	WEA_01	A7	$4.75 \cdot 10^{-6}$
			B243	0
✚	2	WEA_02	A7	0
			B243	0
✚	3	WEA_03	A7	0
			B243	$2.14 \cdot 10^{-6}$
✚	4	WEA_04	A7	$4.26 \cdot 10^{-6}$
			B243	0
✚	5	WEA_05	A7	0
			B243	0
✚	6	WEA_06	A7	0
			B243	0

Tabelle 4.1.1.2: Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken für die definierten Schutzobjekte.

4.2 Turmversagen

Der Abstand des Schutzobjektes liegt oberhalb des in Tabelle 2.1 genannten Gefährdungsbereiches. Eine Gefährdung des Schutzobjektes infolge von Turmversagen wird daher ausgeschlossen.

4.3 Verlust der Gondel bzw. des Rotors

Der Abstand der Schutzobjekte liegt oberhalb des in Tabelle 2.1 genannten maximalen Einflussbereiches für einen Verlust der Gondel bzw. des Rotors. Eine Gefährdung der Schutzobjekte durch einen Verlust der Gondel bzw. des Rotors wird daher ausgeschlossen.

4.4 Schadenshäufigkeiten

Bei der Ermittlung der Schadenshäufigkeiten durch die hier betrachteten großen Trümmerteile ist zu beachten, dass diese auch noch nach dem eigentlichen Auftreffen eine Gefährdung für den fahrenden Verkehr darstellen, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass es in Folge von Unachtsamkeit zu Auffahrunfällen direkt auf ein Trümmerteil oder auf stehende Fahrzeuge kommt. Es werden daher zwei Szenarien unterschieden:

- Szenario 1: Es wird davon ausgegangen, dass zwangsläufig eine Person in



einem Fahrzeug mit den Trümmerteilen auf der Fahrbahn oder stehenden Fahrzeugen kollidiert und dabei ums Leben kommt.

- Szenario 2: Es wird die Anzahl der Fahrzeuge ermittelt, die entweder direkt getroffen werden oder einen Einschlag in unmittelbarer Nähe erfahren.

Szenario 1 entspricht damit der Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Treffer auf den entsprechenden Verkehrsweg kommt. Die Annahme, dass dabei eine Person zu Tode kommt, begründet sich hierbei durch die ersatzweise Verwendung des MEM-Kriteriums für das individuelle Risiko. Entsprechend Kapitel 2.1 sind für das Szenario 1 dann die kumulierten Risiken durch alle WEA für jedes Schutzobjekt zu betrachten.

Szenario 2 ermittelt das unmittelbare Risiko im Moment des Aufpralls. Dabei wird davon ausgegangen, dass es bei jedem der betrachteten Versagensszenarien zu einem Schadensfall kommt. Für die Bewertung von Personenschäden wird weiterhin davon ausgegangen, dass jedes Kfz im Mittel mit 1.5 Personen besetzt ist. Dies entspricht der durchschnittlichen Besetzungszahl von Pkw in Deutschland /7/. In die wirksame Trefferfläche des Kfz und der betrachteten Bruchstücke wird jeweils der Anhalteweg des Fahrzeugs eingerechnet. Dies berücksichtigt, dass auch das Auftreffen im Nahbereich des Kfz zu einer Kollision führen kann bzw. dass eine Fehlreaktion beim Fahrer ausgelöst wird, in deren Folge es zu einem Unfall kommt. Dabei steigt das Risiko überproportional mit der Fahrgeschwindigkeit. Eine infolge eines Treffers durch Trümmer resultierende Verkettung von Unfällen wurde nicht betrachtet.

Für die abschließende Bewertung ist anschließend der größere der aus den Szenarien 1 und 2 ermittelten Werte heranzuziehen.

Mit den genannten Ausführungen ergeben sich für die Schutzobjekte die in Tabelle 4.4.1 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.



	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Schutz- objekt	Häufigkeit von Schäden pro Jahr	
				Sachschäden und Personenschäden Szenario 1	Personenschäden Szenario 2
	1	WEA_01	A7	9.01*10 ⁻⁶ (einmal in 111 000 Jahren)	2.39*10 ⁻⁸ (einmal in 41 Mio. Jahren)
	4	WEA_04	A7		2.23*10 ⁻⁸ (einmal in 44 Mio. Jahren)
	3	WEA_03	B243	2.14*10 ⁻⁶ (einmal in 467 000 Jahren)	6.34*10 ⁻⁹ (einmal in 157 Mio. Jahren)

Tabelle 4.4.1: Risiken für Sach- bzw. Personenschäden am Standort Bornhausen durch Blattbruch und Turmversagen.

4.5 Bewertung des Risikos

Unter der Annahme, dass jeder Treffer auf das Schutzobjekt mit einem Todesfall verbunden ist (Szenario 1), liegen die in Tabelle 4.4.1 ermittelten Trefferhäufigkeiten sämtlich unterhalb des MEM-Kriteriums.

Unter der konservativen Annahme, dass alle hier betrachteten Personenschäden zum Tode führen (Szenario 2), liegen die in Tabelle 4.4.1 ermittelten Häufigkeiten sämtlich unterhalb des MEM-Kriteriums.

Da Sachschäden hier in ihrer Schwere gegenüber Personenschäden vernachlässigbar sind, erübrigt sich eine gesonderte Bewertung der Sachschäden.



5 Zusammenfassung

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 zu betrachten und zu bewerten.

Als Schutzobjekte wurden die in der Nähe verlaufenden Bundesautobahn A7 und die Bundesstraße B243 definiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schutzobjekte durch Blattbruchstücke von den WEA 1, 3 und 4 getroffen werden können.

Abschließend kann festgestellt werden, dass sich für die betrachteten WEA bezüglich der Schutzobjekte keine Gefährdung durch Bauteilversagen an den WEA ergibt.

Ergänzend ist anzumerken, dass aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren die Ergebnisse nur die Größenordnung der betrachteten Häufigkeiten wiedergeben können. Die gewählten Randbedingungen und getroffenen Annahmen wurden jedoch stets so gewählt, dass konservativ abdeckende Werte ermittelt wurden.

6 Formelzeichen und Abkürzungen

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



7 Literaturangaben

- /1/ C. J. Faasen, P. A. L. Franck, A. M. H. W. Taris; Handboek Risicozonering Windturbines, Eindversie, 3^e geactualiseerde versie mei 2013, en Herzene versie 3.1 september 2014; Nederland.
- /2/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.
- /3/ T. Hahm, J. Kröning; Rotorblattversagen – Gefährdungsanalyse für die Umgebung von Windenergieanlagen; 6. Deutsche Windenergie-Konferenz DEWEK 2002.
- /4/ J. Kesenheimer; Grundlagenforschung zur Restnutzungsdauer von Windenergieanlagen; Technische Universität Hamburg-Harburg, April 2003.
- /5/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /6/ wpd AG; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt: Bornhausen2; 18.12.2018; Bremen, Deutschland.
- /7/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.
- /8/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- /9/ © 2017 Google Inc.; © 2009 GeoBasis DE/BKG.
- /10/ Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr; Verkehrsmengenkarte Niedersachsen 2015; 2017; Hannover, Deutschland.