F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Lichterfelde

Referenz-Nummer:
F2E-2018-TGO-019, Rev. 1.A - geschwärzte Fassung

Auftraggeber:
INGENIEURBÜRO ASMUSSEN
Flensburger Straße 19, 24969 Lindewitt - Lüngerau

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:
Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

M.Sc. Susann Heise, Sachverständige, Hamburg, 14.04.2020

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 14.04.2020

Für weitere Auskünfte:
Tel.: 040 53303680-0 Fax: 040 53303680-79
Susann Heise: heise@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. Eine Veröffentlichung und Bereitstellung der geschwärzten Fassung des Gutachtens 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....4
2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen....4
2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten....10
2.3 Auslegungswerte....11
2.3.1 Turbulenzintensität....11
2.3.2 Windgeschwindigkeit....11
2.3.3 Weitere Windbedingungen....12
2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden....12
2.4.1 Bestimmung der Komplexität....12
2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität....13
2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten....14
2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten....16
2.4.5 Bestimmung der Luftdichte....16
2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten....16
2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung....17
2.4.8 Extrapolation der Winddaten....17
2.5 Gültigkeit der Ergebnisse....18
2.5.1 Betriebsbeschränkungen....19
3 Eingangsdaten....21
3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte....21
3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort....21
3.3 Extremwind am Standort....22
3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort....22
3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen....22
4 Bestimmung der Standortbedingungen....23
4.1 Standortbesichtigung....23
4.2 Ergebnisse Standortbedingungen....23
4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren....24
5 Nachweis der Standorteignung....24
5.1 Allgemeine Hinweise....24
5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen....25
5.2.1 Erläuterungen und Hinweise....25
5.2.2 Betriebsbeschränkungen....26
5.2.3 Einschränkungen....27
5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten....27
6 Zusammenfassung....28
7 Literaturangaben....29
Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Lichterfelde A.1

1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, Windenergieanlagen (WEA) hinsichtlich ihrer Standorteignung gemäß Kapitel 16 (Standorteignung von Windenergieanlagen) der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ zu betrachten und zu bewerten.

Voraussetzung für einen Nachweis der Standorteignung ist gemäß /2.8/ das Vorliegen einer gültigen Typenprüfung bzw. Einzelprüfung für die WEA. Im Folgenden ist die Möglichkeit der Einzelprüfung stets eingeschlossen, wenn von Typenprüfung gesprochen wird, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird.

Der Nachweis der Standorteignung der WEA erfolgt entweder durch einen Vergleich der am jeweiligen Standort der WEA herrschenden Windbedingungen mit den Windbedingungen, die der Typenprüfung zugrunde liegen, oder durch einen Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lasten, die der Typenprüfung zugrunde liegen (siehe auch Kapitel 2).

Die Windbedingungen sind in den jeweiligen DIBt-Richtlinien /2.6, 2.7, 2.8/ festgelegt und Bestandteil der Typenprüfung einer WEA. Auf Basis dieser Windbedingungen und der daraus resultierenden Lasten garantiert eine Typenprüfung nach /2.6, 2.7, 2.8/ eine Entwurfslebensdauer der WEA von mindestens 20 Jahren.

Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch Nachbar-WEA erhöhte Turbulenzbelastung einer WEA können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines BImSchG-Antrages herangezogen werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Reduktion der Lebenszeit und der zusätzliche Verschleiß der WEA zumutbar sind, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Das vorliegende Gutachten zur Standorteignung ist daher gleichzeitig eine Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG.

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]		[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]		[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]

3 Eingangsdaten

3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte

Am Standort Lichterfelde (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von drei Windenergieanlagen (WEA 8 - 10). Am Standort befinden sich sieben weitere benachbarte WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs bzw. in Abschnitt A.2.6 des Anhangs dargestellt.

Die Zuordnung der einzelnen WEA zu den Winddatensätzen (Kapitel A.2.4 des Anhangs und gegebenenfalls zu den Datensätzen der Umgebungsturbulenzintensität (Kapitel A.2.1 des Anhangs) kann den letzten beiden Spalten (Datensatz-Nr.) der Tabelle A.2.2.1 des Anhangs entnommen werden.

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Nr.) in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs.

Für die zu betrachtenden WEA werden die in Tabelle 3.1.1 dargestellten Auslegungen zugrunde gelegt.

Die zu den Auslegungen gehörenden Auslegungswerte sind im Anhang in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 dargestellt.

***Tabelle 3.1.1**: Auslegungen der zu betrachtenden WEA (Detailwerte siehe Anhang Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2).*

WEA		Auslegung		
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone	Quelle
	8 - 10*	DIBt 2012	WZ S	/3.3 - 3.5/
	6, 7**	DIBt 2012	---	---
	1 - 5**	DIBt 1993/1995	---	---

*: Die Auslegungswerte der Turbulenzintensität liegen vor, dürfen jedoch aufgrund einer bestehenden Geheimhaltungsvereinbarung zurzeit noch nicht dargestellt werden.

*: Da der Nachweis der Standorteignung der WEA nur hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA untereinander durch einen Vergleich mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität erfolgt (siehe Kapitel 2.1), sind für diese WEA nur die entsprechenden Auslegungswerte aus Tabelle A.2.3.2 des Anhanges relevant.

3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden in Absprache mit dem Auftraggeber durch die anemos Gesellschaft

für Umweltmeteorologie mbH auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland /3.1/ bestimmt und sind in Kapitel A.2.4 des Anhangs dargestellt.

Die in Kapitel A.2.4 des Anhangs dargestellten Koordinaten werden eventuell nicht im Original-Koordinatensystem aus /3.1/ dargestellt, sondern auf das hier verwendete Koordinatensystem umgerechnet (siehe Kapitel A.1.1 des Anhangs). Für die Umrechnung der Koordinaten wird keine Gewähr übernommen.

Die verwendeten Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung im Windpark am Standort Lichterfelde vorausgesetzt.

3.3 Extremwind am Standort

Durch die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH wurde in /3.6/ der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren standortspezifisch ermittelt. Eine Haftung für das Gutachten /3.6/ wird seitens des Gutachters nicht übernommen.

Der in /3.6/ ermittelte Wert ist in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.

***Tabelle 3.3.1**: 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren /3.6/.*

WEA		v_{50} [m/s]
	Lfd. Nr.	
	8 - 10	33.36

3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort

Die Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität erfolgt gemäß Kapitel 2.4.2 und den dort genannten Eingangsdaten.

Die Bewertung des Orografieeinflusses erfolgt im vorliegenden Fall auf Basis von Höhendaten nach /1.8/.

3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen

Die jeweils in den Berechnungsvarianten im Anhang berücksichtigten Betriebsbeschränkungen sind in Kapitel A.2.5 des Anhangs dargestellt.

4 Bestimmung der Standortbedingungen

4.1 Standortbesichtigung

Gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ ist eine Standortbesichtigung durchzuführen. Im Rahmen des Nachweises der Standorteignung dient die Standortbesichtigung der Dokumentation der aktuellen Situation vor Ort und der Bestimmung der Geländekategorie nach /2.9/.

Weiterhin sollen Einzelstrukturen und orografische Hindernisse identifiziert werden, die auf Grund ihrer Entfernung und Höhe so groß sind, dass der direkte Einfluss der Nachlaufströmung dieser Einzelstrukturen und orografischen Hindernisse auf den Rotor einer WEA nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Einzelstrukturen können dann nicht als Rauigkeitselement aufgelöst werden und ihr Einfluss ist gesondert zu bewerten. Benachbarte WEA sind nicht als Einzelstrukturen zu betrachten. Die Verifizierung der Windparkkonfiguration (siehe Kapitel 3) ist daher nicht Umfang der Standortbesichtigung.

Der Standort wurde am 04.07.2019 von einem Mitarbeiter der Firma Ingenieurbüro Cord Asmussen besichtigt. Als Ergebnis dieser Besichtigung liegen uns folgende Unterlagen vor:

- Panoramafotos vom Standort Lichterfelde /3.2/,
- Standortbeschreibung inklusive Übersichtskarte zum Standort Lichterfelde /3.2/.

Die im vorliegenden Bericht /3.2/ gemachten Angaben werden im Folgenden als richtig vorausgesetzt.

Der Standort wurde in den vorliegenden Unterlagen /3.2/ in die Geländekategorie II nach /2.9/ eingeordnet.

Relevante Einzelstrukturen, deren Nachlaufströmungen gesondert zu betrachten wären, konnten anhand der vorliegenden Unterlagen /3.2/ nicht identifiziert werden.

4.2 Ergebnisse Standortbedingungen

Die ermittelten Standortbedingungen sind in den Tabellen A.3.2.1 - A.3.2.3 des Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.2.1 des Anhangs rot markiert.

Entsprechend der DIBt-Richtlinie /2.8/ werden die Ergebnisse für alle WEA ausgewiesen, deren Abstand bezogen auf den Rotordurchmesser D der geplanten WEA kleiner gleich acht Rotordurchmesser ist. Diese Betrachtungsweise ist abdeckend für

alle Referenzwindgeschwindigkeiten v_{ref} (siehe Kapitel 2).

Die WEA, an deren Standorten mehr als 15% der Energie des Windes aus komplexen Sektoren kommt, sind in Tabelle A.3.2.3 des Anhangs als komplex markiert. Für diese WEA kann das vereinfachte Verfahren zum Nachweis der Standorteignung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ nicht angewendet werden.

Es ist zusätzlich in der Tabelle A.3.1.1 des Anhangs die Situation vor dem Zubau der WEA 8 - 10 dargestellt.

Es sind zusätzlich in den Tabellen A.3.3.1 und A.3.4.1 des Anhangs effektive Turbulenzintensitäten für die Wöhlerlinien-Koeffizienten m = 4 und 8 dargestellt.

4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren

Die Windzone der Standorte der geplanten WEA und der zugehörige 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wurden gemäß /2.10/ bzw. /2.11/ ermittelt und können Tabelle A.3.2.3 des Anhangs entnommen werden.

Sofern in Kapitel 3.3 kein standortspezifischer Wert ermittelt wurde, finden diese Werte Anwendung.

Sofern es sich um einen küstennahen Standort der höchsten Windzone handelt wird der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren sowohl für die Geländekategorie I als auch für die Geländekategorie II angegeben. Der Wert für die Geländekategorie I ist zu verwenden, wenn die Standortbesichtigung eine Einordnung in Geländekategorie I ergeben hat (siehe Kapitel 4.1). In allen anderen Fällen kann der Wert der Geländekategorie II angesetzt werden.

5 Nachweis der Standorteignung

5.1 Allgemeine Hinweise

- Bezüglich der Gültigkeit der getroffenen Aussagen gelten die in Kapitel 2.5 genannten Anmerkungen.
- Aufgrund einer zurzeit bestehenden Geheimhaltungsvereinbarung werden die für die WEA 8 - 10 vorliegenden Auslegungswerte der effektiven Turbulenzintensität nicht im Gutachten dargestellt.

5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen

In Tabelle 5.2.1 ist das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen sowie die Einzelergebnisse für die einzelnen Windparameter in einer Übersicht dargestellt. Die Bewertung beruht auf einem Vergleich der in Tabelle 3.3.1 sowie in den Tabellen A.3.2.1 und A.3.2.3 des Anhangs dargestellten Werte mit den Auslegungswerten in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2. Für die Bewertung der Windgeschwindigkeitsverteilung werden die Parameter A und k der Weibullverteilung dabei nicht direkt verglichen, sondern dienen als Eingangswerte für die in Kapitel 2.1 aufgeführten Nachweismethoden.

Das Gesamtergebnis ist nur positiv, wenn alle Einzelergebnisse positiv bewertet sind. Für bestehende WEA wird nur der Einfluss der geplanten WEA auf Auslegungswerte der Turbulenzintensität betrachtet (siehe Kapitel 2.1).

***Tabelle 5.2.1**: Übersicht über das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen.*

WEA			Einzelergebnisse						Gesamt-ergebnis	LR möglich
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	I_{eff}	α	φ	ρ	v_{50}	A, k		
	1*	20602710000	+	---					+	---
	2*	20603490000	+	---					+	---
	3	20603260000	-	---					-	ja
	4	20603480000	-	---					-	---*
	5	20603630000	-	---					-	ja
	6	20604930000	+	---					+	---
	7	20605360000	+	---					+	---
	8	WEA-REG-01	+	+	+	+	+	-	-	ja
	9	WEA-REG-02	+	+	+	+	+	-	-	ja
	10	WEA-REG-03	+	+	+	+	+	-	-	ja

*: Für die WEA 1 und 2 wird der konstante Auslegungswert von 20% Turbulenzintensität nach DIBt von 1995 (1993) zugrunde gelegt /2.6/ (siehe Kapitel 2.4.3).

---*: Aufgrund des geringen Abstandes (<2D) der WEA 9 zur WEA 4 kommt es zu Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität an der WEA 4. Da die Modellgrenzen überschritten sind, werden keine effektiven Turbulenzintensitäten für diese WEA ausgewiesen.

5.2.1 Erläuterungen und Hinweise

- Die Kennlinien der WEA 8 - 10 beziehen sich laut Angaben des Herstellers auf

ein frühes Stadium der technischen Entwicklung und können daher noch Änderungen unterliegen.

- Bezüglich der in /3.6/ getroffenen Aussage zum 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren ist gemäß /3.6/ die Möglichkeit einer Überschreitung des in /3.6/ ausgewiesenen Extremwertes nicht auszuschließen, da Extremwinde nicht vorhersagbaren klimatologischen Einflüssen unterworfen sind und somit Extremwinde eines längeren Bezugszeitraumes auch in einem kürzeren Zeitraum auftreten können.

5.2.2 Betriebsbeschränkungen

Alle aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wurde nicht vorgenommen.

Der Einfluss der geplanten WEA 8 und 9 auf die WEA 3 und 5 ist so groß, dass sich durch die geplanten WEA 8 und 9 eine signifikante Erhöhung der effektiven Turbulenzintensitäten an den WEA 3 und 5 ergibt (siehe Tabellen A.3.1.1 und A.3.2.1 des Anhangs).

Der signifikante Einfluss der WEA 8 und 9 auf die WEA 3 und 5 kann in der geplanten Windparkkonfiguration durch Ausschluss des Betriebes der WEA 3 und 5 in der Nachlaufströmung der WEA 8 und 9 unterbunden werden. Dies kann durch das Abschalten der WEA 8 und 9 bei Auftreten der entsprechenden Nachlaufsituation erreicht werden.

Die Standorteignung der betroffenen WEA 4 kann hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität in der geplanten Windparkkonfiguration durch eine Betriebsbeschränkung benachbarter WEA gewährleistet werden. Dies kann durch das Abschalten der entsprechenden benachbarten WEA bei Auftreten der jeweiligen Nachlaufsituation erreicht werden.

Die notwendigen Betriebsbeschränkungen sind in Tabelle A.2.5.5.1 dargestellt. Zu den implizit mit abgedeckten alternativen Betriebsbeschränkungen siehe Kapitel 2.5.1.

Gemäß /2.2/ ist ein Vergleich der Häufigkeitskeitsverteilung der Windgeschwindigkeit mit der Verteilung der Auslegung im Bereich von $0.2v_{ref}$ bis $0.4v_{ref}$ durchzuführen.

Da für die WEA 8 - 10 die standortspezifische Kurve der Häufigkeitsverteilung nicht vollständig durch die der Auslegung abgedeckt ist, kann die Standorteignung der betroffenen WEA 8 - 10 durch eine Betriebsbeschränkung gewährleistet werden. Dies

kann durch das Abschalten der betroffenen WEA bei den Windgeschwindigkeiten erfolgen, die am Standort häufiger auftreten als in der Auslegung angenommen.

Die notwendige Betriebsbeschränkung für die WEA 8 - 10 ist in der nachfolgend aufgeführten Tabelle 5.2.2.1 dargestellt.

Tabelle 5.2.2.1: *Vorgaben für die sektorielle Betriebsbeschränkung zur Gewährleistung der Standorteignung der WEA 8 - 10 hinsichtlich der Häufigkeitskeitsverteilung der Windgeschwindigkeit.*

Definition der sektoriellen Betriebsbeschränkung		
Art der Beschränkung	Sektor (0° = geografisch Nord)	Windgeschwindigkeitsbereich [m/s]
Abschaltung	alle	7.5 - 9.4

5.2.3 Einschränkungen

Die Aussagen zum Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen unterliegen keinen Einschränkungen.

5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten

Die in den Tabellen A.3.2.1 - A.3.2.3, A.3.3.1 und A.3.4.1 des Anhangs dargestellten Werte oder diese bezüglich der Lasten abdeckende Werte können als Eingangsparameter für standortspezifische Berechnungen der Betriebs- und Extremlasten durch den Hersteller verwendet werden, um die Standorteignung der zu betrachtenden WEA durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten zu überprüfen.

Die Komplexität von WEA-Standorten kann dabei entweder in der effektiven Turbulenzintensität über entsprechende Turbulenzstrukturparameter erfasst werden oder sie ist in den standortspezifischen Berechnungen der Betriebslasten gemäß /2.2, 2.3/ durch eine Erhöhung der lateralen und vertikalen Komponente der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit auf den einfachen bzw. den 0.7fachen Wert der longitudinalen Komponente zu berücksichtigen.

Entsprechende Berechnungsberichte liegen für die WEA 3, 5 und 8 - 10 nicht vor.

6 Zusammenfassung

Am Standort Lichterfelde (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von drei Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich sieben weitere benachbarte WEA. Die Planung wurde von uns daraufhin bewertet, ob die Standorteignung der zu betrachtenden WEA gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ gewährleistet ist.

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen.

Die Ergebnisse dienen gleichzeitig als Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG. Das heißt, die Immissionen sind zumutbar, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Die abschließenden Aussagen zur Standorteignung der geplanten WEA bzw. der weiteren zu betrachtenden WEA sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Alternativen zu den in Tabelle 6.1 aufgeführten Betriebsbeschränkungen sind im Anhang in Kapitel A.2.5.5 dargestellt.

***Tabelle 6.1**: Ergebnisübersicht für alle zu betrachtenden WEA.*

Getroffene Aussagen zu den WEA	WEA lfd. Nr.	Einschränkungen	
		BBS	Sonstige
Standorteignung der geplanten WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist durch einen Vergleich mit den Windbedingungen der Auslegung nachgewiesen.	8 - 10	Tabelle 5.2.2.1*	---
Standorteignung der weiteren zu betrachtenden WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA durch einen Vergleich mit den Windbedingungen der Auslegung nachgewiesen.	1, 2, 6, 7	---	---
	4	Nr. 2 Tabelle A.2.5.5.1	---
Die Standorteignung folgender WEA lässt sich durch einen Vergleich mit den Windbedingungen der Auslegung nicht nachweisen. Ein weiterer signifikanter Einfluss wird durch die definierten Betriebsbeschränkungen unterbunden.	3	Nr. 1 Tabelle A.2.5.5.1*	---
	5	Nr. 3 Tabelle A.2.5.5.1*	---

*: Die Betriebsbeschränkung kann entfallen, wenn auf Basis der hier ermittelten Windbedingungen ein Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten erbracht wird (siehe Kapitel 5.3).

7 Literaturangaben

Allgemein

/1.1/ Verein Deutscher Ingenieure; VDI 3783 Blatt 12; Umweltmeteorologie - Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Dezember 2000; Düsseldorf, Deutschland.

/1.2/ ECN Solar & Wind Energy; Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II; 1998; Petten, Netherlands.

/1.3/ Risø National Laboratory; European Wind Atlas; 1989; Risø, Denmark.

/1.4/ Risø National Laboratory; Frandsen, St. T.; Turbulence and turbulence-generated structural loading in windturbine clusters; Wind Energy Department; Januar 2007; Roskilde, Risø-R-1188(EN), Denmark.

/1.5/ Kunte A.; Landesamt für Landwirtschaft; Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein; Turbulenz-Immissionsprognosen vereinheitlicht; WIND-KRAFT Journal; Verlag Natürliche Energien, Ausgabe 4/2009, Seite 28-30; Seevetal, Deutschland.

/1.6/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: http://www.openstreetmap.org, http://opendatacommons.org, http://creativecommons.org.

/1.7/ European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20.0; Juni 2019; Copenhagen, Denmark.

/1.8/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara; Hole-filled seamless SRTM data V3; International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 2006; Washington, USA.

/1.9/ Deutscher Wetterdienst; DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2m) für Deutschland 1981-2010, Version v1.0; Offenbach, Deutschland.

Normen

/2.1/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 2, 1999-02; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:1999); August 2004; Berlin, Deutschland).

/2.2/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2005-08; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005); Juli 2006; Berlin, Deutschland).

/2.3/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Amendment 1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2010-10; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2011-08; Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); August 2011; Berlin, Deutschland).

/2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Ed. 4, Wind turbines - Part 1: Design requirements; 88/521/CD Committee Draft, 22. Oktober 2015.

/2.5/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH; Guidelines for the Certification of Wind Turbines; 2010; Hamburg, Deutschland.

/2.6/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Aufl., 1995; Berlin, Deutschland.

/2.7/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Berlin, Deutschland.

/2.8/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 sowie korrigierte Fassung März 2015; Berlin, Deutschland.

/2.9/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA (Nationaler Anhang); Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Dezember 2010; Berlin, Deutschland.

/2.10/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen, 'Windzonen_Formular_nach_Verwaltungsgrenzen.xlsx'; Fassung April 2019.

/2.11/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 4131; Antennentragwerke aus Stahl; November 1991; Berlin, Deutschland.

/2.12/ Deutsches Institut für Normung e.V; DIN ISO 2533; Normatmosphäre; Dezember 1979; Berlin, Deutschland.

Projektspezifisch

/3.1/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Abschätzung des langjährigen mittleren Windpotentials auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Lichterfelde - unverbindliche Vorabschätzung -; Berichts-Nr.: 20-031-7020079-Rev.00-WV-AW; 19. Februar 2020; Reppenstedt, Deutschland.

/3.2/ Ingenieurbüro Asmussen; Standortdokumentation im Rahmen der Erstellung eines Turbulenzgutachtens, Baumassnahme: Windpark Lichterfelde; Rev_01; 15.07.2019; Lüngerau, Deutschland.

/3.3/ Vestas Deutschland GmbH; Standorteignungsgutachten und verfügbare Typenprüfungen für Projekte in Deutschland; 22.07.2019; Berlin, Deutschland.

/3.4/ Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz V162-5.6 MW 50/60 Hz 20 Jahre; Documentnr.: 0076-1172 V00; 24.10.2018; Aarhus N, Dänemark.

/3.5/ Vestas North & Central Europe; Angaben zu den Auslegungswerten per E-Mail vom Hersteller; 06.09.2019; Berlin, Deutschland.

/3.6/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Lichterfelde; Berichts-Nr.:20-060-7020165-Rev.00-EX-AW; 30. März 2020; Reppenstedt, Deutschland.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	Thomas Hahm, F2E
Kunde	INGENIEURBÜRO ASMUSSEN
Projektname	Lichterfelde
Variante	—
Referenznummer	F2E-2018-TGO-019
Revision	1.A
Software	Wake2e 3.10.0.18
	WEA-Bibliothek Version 1.6.314
Koordinatensystem	UTM WGS84/ETRS89, Nord-Hemisphäre
Abstand der relevanten WEA	8.0D

A.1.2 Filter-Einstellungen

Geplante WEA	Angezeigt
Relevante WEA	Angezeigt
Vorhandene WEA	Eingabedaten angezeigt, Ergebnisse nicht angezeigt
Irrelevante WEA	Eingabedaten angezeigt, Ergebnisse nicht angezeigt
Inaktive WEA	Nicht angezeigt

A.1.3 Standortbesichtigung

Datum der Besichtigung	04.07.2019
Durchgeführt von	Cord Asmussen, Ingenieurbüro Cord Asmussen
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.
Höhendaten Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara; Hole-filled seamless SRTM data V3; International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 2006; Washington, USA.

A.2.2 Windparkkonfiguration

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

WEA							Koordinaten		Datensatz-Nr.	
	Nr.	Bezeichnung	WEA-Typ	P_N [MW]	D [m]	z_{hub} [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz
	1	20602710000	Senvion MD70	1.5	70	85	33416842	5859014	1	—
	2	20603490000	Suedwind S77	1.5	77	85	33417338	5858820	1	—
	3	20603260000	Senvion MD77	1.5	77	85	33417504	5859060	1	—
	4	20603480000	Vestas V80 2.0MW	2	80	100	33417759	5858877	1	—
	5	20603630000	Fuhrlaender FL1000s	1	54	70	33417553	5859266	1	—
	6	20604930000	Vestas V126 3.3MW Mode 0/0+	3.3	126	137	33415927	5859641	2	—
	7	20605360000	Vestas V136-4.0/4.2 4.2MW Mode PO1/PO1-0S (not HH <= 104m)	4.2	136	166	33416489	5859425	2	—
	8	WEA-REG-01	Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	5.6	162	166	33416989	5859325	2	—
	9	WEA-REG-02	Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	5.6	162	166	33417709	5858559	2	—
	10	WEA-REG-03	Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	5.6	162	166	33417350	5858213	2	—

A.2.3 Auslegungswerte

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung

	Nr.	Richtlinie	WZ	I_{amb}	I_{des}	τ_{design}	v_{ave}	k	α_{min}	α_{max}	φ	ρ	v_{50}
	1	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	—	—	Repräsentativ	5	—	—	—	—	—	—	—	—
	7	—	—	Repräsentativ	6	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	29	20	7.5	2.22	0.27	0.27	8	1.224	37.6
	9	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	29	20	7.5	2.22	0.27	0.27	8	1.224	37.6
	10	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	29	20	7.5	2.22	0.27	0.27	8	1.224	37.6

Tabelle A.2.3.2: Auslegungswerte der Turbulenzintensität I-des [%]

WEA		Auslegungswerte für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
Id	Turbulenzkategorie	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	DIBt 1993	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	IEC Ed.3/4 A	—	41.9	34.4	29.9	26.9	24.8	23.2	22.0	21.0	20.1	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.2	15.1
6	IEC Ed.3/4 B	—	36.6	30.1	26.2	23.6	21.7	20.3	19.2	18.3	17.6	17.0	16.5	16.1	15.7	15.4	15.1	14.9	14.6	14.4	14.2	14.1	13.9	13.8	13.6	13.5	13.4	13.3	13.2
29	Vestas V150-5.x V162-5.x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	DIBt 2004	—	42.0	34.5	30.0	27.0	24.9	23.3	22.0	21.0	20.2	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.8	15.6	15.5	15.3	15.2	15.1

A.2.4 Winddaten

Quelle Externe Datei
Dateiname lichterfelde_rev2a_winddata.csv

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.4.1: Wind-Datensatz "Wind 1"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	5.4	5.4	5.6	5.7	6.2	5.6	6	6.8	7.3	7.4	6.4	5.6
k [-]	2.6	2.6	2.7	2.9	3.2	3	2.7	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6
Häufigkeit (100%=1)	0.0425	0.052	0.0622	0.0747	0.0905	0.054	0.0602	0.0978	0.1474	0.1744	0.0921	0.0522

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	6.40
k [-]	2.630
v_{ave} [m/s]	5.72

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	100
Ost	33417350
Nord	5858846

Tabelle A.2.4.2: Wind-Datensatz "Wind 2"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.2	6.2	6.4	6.7	7.5	7.1	7.3	8.2	8.8	9	7.9	6.7
k [-]	2.4	2.4	2.4	2.6	2.8	2.7	2.4	2.5	2.7	2.7	2.5	2.4
Häufigkeit (100%=1)	0.0447	0.0489	0.0574	0.0685	0.0867	0.0609	0.0591	0.0905	0.1466	0.1763	0.104	0.0564

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	7.80
k [-]	2.440
v_{ave} [m/s]	6.87

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	166
Ost	33417349
Nord	5858845

A.2.5 Betriebsbeschränkungen (BBS)

A.2.5.1 Situation vor dem Zubau

Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

A.2.5.2 Situation nach dem Zubau

Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

A.2.5.3 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=4"

Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

A.2.5.4 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=8"

Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

A.2.5.5 Berechnungsvariante "Betriebsbeschraenkungen"

Tabelle A.2.5.5.1: Betriebsbeschränkungen der Berechnungsvariante "Betriebsbeschraenkungen"

Nr.	Eingeschränkte WEA	Zu schützende WEA	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	WEA 8	WEA 3	X	-	-	282.2	310.4	v-in	13.8
	WEA 8		-	5.6MW Mode SO6 restricted	-	282.2	310.4	13.8	14.9
	WEA 9		X	-	-	141.6	172	v-in	11.6
2	WEA 9	WEA 4	X	-	-	160.6	215.4	v-in	v-out

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.5.5.1: Betriebsbeschränkungen der Berechnungsvariante "Betriebsbeschraenkungen"

Nr.	Eingeschränkte WEA	Zu schützende WEA	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
3	WEA 8	WEA 5	X	-	-	262.6	287.4	v-in	27.7
	WEA 9		X	-	-	156.9	176.3	v-in	9.6
	WEA 9		-	5.6MW Mode SO6 restricted	-	156.9	176.3	9.6	10.8
	WEA 9		-	5.6MW Mode SO2 restricted	-	156.9	176.3	14.2	15.3

Tabelle A.2.5.5.2: Betriebsbeschränkungen der Berechnungsvariante "Betriebsbeschraenkungen" - Alternative A

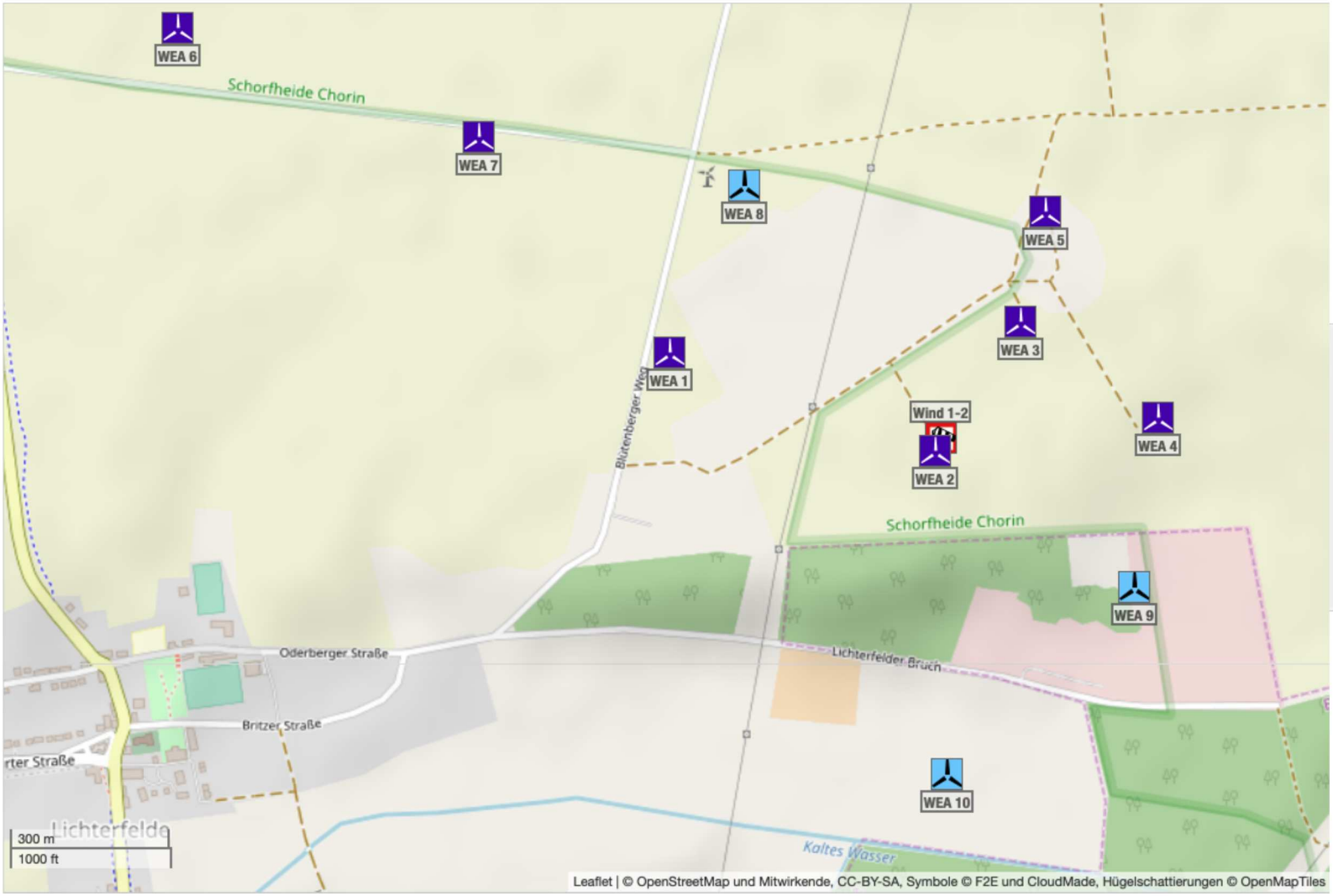
Nr.	Eingeschränkte WEA	Zu schützende WEA	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	WEA 8	WEA 3	X	-	-	282.2	310.4	v-in	14.9
	WEA 9		X	-	-	141.6	172	v-in	11.6
2	WEA 9	WEA 4	X	-	-	160.6	215.4	v-in	v-out
3	WEA 8	WEA 5	X	-	-	262.6	287.4	v-in	27.7
	WEA 9		X	-	-	156.9	176.3	v-in	10.8
	WEA 9		X	-	-	156.9	176.3	14.2	15.3

Tabelle A.2.5.5.3: Betriebsbeschränkungen der Berechnungsvariante "Betriebsbeschraenkungen" - Alternative B

Nr.	Eingeschränkte WEA	Zu schützende WEA	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	WEA 3	WEA 3	X	-	-	282.2	310.4	v-in	13.5
	WEA 3		X	-	-	141.6	172	v-in	10.5
2	WEA 4	WEA 4	X	-	-	160.6	215.4	v-in	v-out
3	WEA 5	WEA 5	X	-	-	262.6	287.4	v-in	24.5
	WEA 5		X	-	-	156.9	176.3	v-in	9.5
	WEA 5		X	-	-	156.9	176.3	12.5	13.5

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2.6 Karte des Windparks



Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2.7 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

Tabelle A.2.7.1: Abstände zu den nächsten fünf aktiven WEA in Rotordurchmessern der jeweiligen Nachbar-WEA

WEA			Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
Nr.	Bezeichnung		Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung
1	20602710000		8	2.12	7	3.98	10	5.85	9	6.04	2	6.92
2	20603490000		9	2.80	10	3.75	8	3.79	3	3.79	4	5.31
3	20603260000		9	3.34	8	3.58	2	3.79	5	3.92	4	3.92
4	20603480000		9	1.99	3	4.08	10	4.81	8	5.50	2	5.52
5	20603630000		3	2.75	8	3.50	9	4.47	4	5.50	2	6.43
6	20604930000		7	4.43	8	6.84	10	12.44	9	12.87	1	15.85
7	20605360000		8	3.15	6	4.78	1	7.74	10	9.18	9	9.24
8	WEA-REG-01		7	3.75	1	4.91	9	6.49	10	7.22	3	7.52
9	WEA-REG-02		10	3.08	4	4.02	2	5.89	8	6.49	3	7.03
10	WEA-REG-03		9	3.08	8	7.22	2	7.88	4	9.75	7	10.93

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation vor dem Zubau

BBS definiert Nein
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Ja

Tabelle A.3.1.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	20602710000	10	16.6	—	28.8	25.3	22.9	21.0	19.5	18.0	16.6	15.5	14.7	14.1	13.6	13.2	12.9	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.8	11.7	11.7	11.6	—	—	—	—
	2	20603490000	10	17.2	—	29.1	25.3	22.8	21.0	19.6	18.2	17.0	15.9	15.1	14.5	14.0	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	—	—	—	—
	3	20603260000	10	20.7	—	34.3	29.9	27.6	26.0	24.8	23.1	21.7	20.2	17.3	15.7	14.7	14.0	13.4	13.0	12.6	12.3	12.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	20603480000	10	17.0	—	28.6	24.9	22.6	21.1	20.1	19.0	18.0	17.1	15.6	14.7	14.1	13.6	13.1	12.8	12.5	12.2	12.0	11.9	11.8	11.8	11.8	11.7	—	—	—	—
	5	20603630000	10	22.6	—	37.5	33.0	30.0	28.1	27.1	25.0	23.2	21.0	17.9	15.7	14.5	13.8	13.3	13.0	12.7	12.4	12.2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	—	—	—	—
	6	20604930000	10	—	31.9	27.3	24.5	22.3	20.6	19.3	18.0	16.6	15.5	14.6	13.9	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	11.8	11.8	—	—	—	—	—	—	—
	7	20605360000	10	—	30.7	25.8	22.7	20.6	18.9	17.7	16.7	15.8	14.9	14.2	13.6	13.1	12.7	12.4	12.1	11.9	11.7	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	—	—

A.3.2 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Nein
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.2.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	20602710000	10	18.2	—	31.8	29.8	27.2	25.1	23.3	21.9	18.7	16.1	14.8	14.1	13.6	13.2	12.9	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.8	11.7	11.7	11.6	—	—	—	—
	2	20603490000	10	19.5	—	33.4	31.5	29.1	27.1	25.4	23.8	20.4	17.4	15.6	14.6	14.0	13.6	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	—	—	—	—
	3	20603260000	10	21.0	—	34.9	30.9	28.5	26.6	25.3	23.6	21.9	20.2	17.4	15.8	14.8	14.0	13.4	13.0	12.6	12.4	12.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt
Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.2.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	4	20603480000	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	20603630000	10	22.7	—	37.7	33.2	30.2	28.3	27.3	25.4	23.4	21.2	18.2	16.1	15.0	14.3	13.8	13.4	13.0	12.7	12.5	12.4	12.3	12.3	12.2	11.9	—	—	—	—
	6	20604930000	10	—	32.1	27.5	24.7	22.5	20.7	19.5	18.1	16.7	15.6	14.7	14.0	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	11.8	11.8	—	—	—	—	—	—	—
	7	20605360000	10	—	32.0	27.6	25.3	23.1	21.4	20.1	19.1	17.1	15.4	14.4	13.7	13.2	12.8	12.4	12.1	11.9	11.7	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	—	—
	8	WEA-REG-01	10	—	32.2	29.2	26.1	23.8	22.1	20.9	19.6	18.3	17.2	16.2	15.4	14.6	14.0	13.5	13.0	12.6	12.3	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	—	—	—	—	—
	9	WEA-REG-02	10	—	33.8	30.1	27.8	25.8	24.3	23.3	22.7	20.6	18.4	16.9	15.9	15.1	14.5	14.0	13.6	13.2	12.9	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	—	—	—	—	—
	10	WEA-REG-03	10	—	33.1	28.0	25.3	23.0	21.2	19.9	18.9	17.1	15.8	15.0	14.5	14.0	13.6	13.3	13.0	12.8	12.6	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	—	—	—	—	—

Tabelle A.3.2.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	20602710000	10	—	38.3	37.5	35.0	32.9	31.5	30.7	26.8	22.6	19.8	17.8	16.9	16.3	15.8	15.4	15.1	14.8	14.6	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4	—	—	—	—
	2	20603490000	10	—	40.1	38.3	35.5	33.3	31.7	30.8	27.4	23.9	21.6	20.0	18.8	17.9	17.1	16.5	16.0	15.6	15.2	15.1	15.0	14.9	14.8	14.7	—	—	—	—
	3	20603260000	10	—	41.3	35.6	32.9	30.8	29.2	28.3	26.2	24.6	23.2	20.4	19.4	18.3	17.5	16.6	16.1	15.5	15.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	20603480000	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	20603630000	10	—	48.0	42.4	38.7	36.6	35.8	33.6	31.9	30.0	26.2	23.4	21.5	20.1	18.9	18.0	17.3	16.7	16.2	15.2	15.1	15.1	15.0	15.0	—	—	—	—
	6	20604930000	10	36.6	33.3	30.4	27.6	25.5	24.1	22.4	20.5	19.0	17.6	16.5	15.7	15.1	14.6	14.2	13.8	13.6	13.4	13.4	13.4	—	—	—	—	—	—	—
	7	20605360000	10	35.8	32.1	30.4	28.2	26.4	25.1	24.3	21.6	18.9	17.1	16.2	15.6	15.1	14.6	14.2	13.9	13.5	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.0	13.0	—	—
	8	WEA-REG-01	10	35.8	32.9	28.9	26.2	24.2	22.8	21.1	19.8	19.0	18.1	17.3	16.5	15.6	15.0	14.5	14.0	13.8	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	—	—	—	—	—
	9	WEA-REG-02	10	38.3	34.3	32.6	30.2	28.3	26.9	26.1	23.2	20.6	19.4	17.0	16.0	15.3	14.8	14.5	14.3	14.0	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	—	—	—	—	—
	10	WEA-REG-03	10	35.6	32.0	30.4	28.2	26.4	25.1	24.3	21.6	18.8	17.0	15.8	15.4	15.1	14.8	14.5	14.2	14.0	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	—	—	—	—	—

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

WEA-Eigenschaften						Nächste WEA		Ergebnisse														
	Nr.	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	WZ	v_{50} GK2 [m/s]	v_{50} GK1 [m/s]	A [m/s]	A ρkorr [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρkorr [m/s]
	1	Senvion MD70	85	70	Nein	2.123	8	Nein	10	Nein	0.15	0.5	1.240	2 / II	35.2		6.29	6.26	2.6	5.58	5.56
	2	Suedwind S77	85	77	Nein	2.8	9	Nein	10	Nein	0.15	1.7	1.240	2 / II	35.2		6.29	6.26	2.6	5.58	5.56
	3	Senvion MD77	85	77	Nein	3.341	9	Nein	10	Nein	0.15	1.1	1.241	2 / II	35.2		6.29	6.26	2.6	5.58	5.56
	4	Vestas V80 2.0MW	100	80	Nein	1.987	9	Nein	10	Nein	0.15	1.5	1.240	2 / II	36.1		6.4	6.41	2.63	5.72	5.7
	5	Fuhrlaender FL1000s	70	54	Nein	2.749	3	Nein	10	Nein	0.15	0.6	1.243	2 / II	34.1		6.11	6.09	2.57	5.42	5.41
	6	Vestas V126 3.3MW Mode 0/0+	137	126	Nein	4.427	7	Nein	10	Nein	0.14	0.2	1.234	2 / II	38		7.55	7.58	2.382	6.69	6.72
	7	Vestas V136-4.0/4.2 4.2MW Mode PO1/PO1-0S (not HH <= 104m)	166	136	Nein	3.147	8	Nein	10	Nein	0.13	0.3	1.230	2 / II	39.2		7.8	7.76	2.44	6.87	6.89
	8	Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	166	162	Nein	3.749	7	Nein	10	Nein	0.14	0.2	1.230	2 / II	39.2		7.8	7.77	2.44	6.87	6.89
	9	Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	166	162	Nein	3.077	10	Nein	10	Nein	0.14	0.8	1.233	2 / II	39.2		7.8	7.77	2.44	6.87	6.89
	10	Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	166	162	Nein	3.077	9	Nein	10	Nein	0.14	0.7	1.233	2 / II	39.2		7.8	7.78	2.44	6.87	6.9

A.3.3 Berechnungsvariante “Woehlerlinienkoeffizient m=4”

BBS definiert Nein
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.3.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	20602710000	4	17.1	—	29.9	26.8	24.1	22.0	20.1	18.5	16.6	15.3	14.4	13.9	13.4	13.0	12.7	12.4	12.1	11.9	11.7	11.7	11.6	11.6	11.6	11.5	—	—	—	—
	2	20603490000	4	17.9	—	31.0	28.2	25.7	23.6	21.8	20.1	17.8	16.0	15.0	14.3	13.8	13.4	13.0	12.7	12.5	12.2	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.8	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.3.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	3	20603260000	4	19.0	—	32.2	28.6	26.2	24.3	22.8	21.2	19.5	17.9	16.0	14.9	14.2	13.6	13.1	12.8	12.4	12.2	11.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	20603480000	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	20603630000	4	19.1	—	32.7	28.9	26.2	24.4	23.2	21.8	20.1	18.3	16.7	15.7	15.0	14.4	14.0	13.6	13.3	13.0	12.8	12.7	12.6	12.6	12.5	11.8	—	—	—	—
	6	20604930000	4	—	31.7	26.5	23.4	21.2	19.5	18.3	17.1	16.0	15.2	14.4	13.8	13.4	13.0	12.6	12.4	12.1	11.9	11.8	11.8	11.8	—	—	—	—	—	—	—
	7	20605360000	4	—	31.5	26.7	23.8	21.6	19.9	18.5	17.4	16.1	15.0	14.2	13.5	13.0	12.6	12.3	12.0	11.8	11.6	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	—	—
	8	WEA-REG-01	4	—	32.1	28.4	25.3	23.1	21.5	20.3	19.2	18.0	17.0	16.0	15.1	14.5	13.9	13.4	13.0	12.6	12.3	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	—	—	—	—	—
	9	WEA-REG-02	4	—	33.0	29.4	26.3	24.2	22.6	21.6	20.9	19.3	17.8	16.5	15.6	14.9	14.4	13.9	13.5	13.2	12.8	12.6	12.5	12.4	12.4	12.3	—	—	—	—	—
	10	WEA-REG-03	4	—	32.5	27.3	24.1	21.8	20.0	18.6	17.5	16.4	15.5	14.8	14.3	13.8	13.4	13.1	12.9	12.6	12.4	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	—	—	—	—	—

A.3.4 Berechnungsvariante “Woehlerlinienkoeffizient m=8”

BBS definiert Nein
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.4.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																										
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	20602710000	8	17.8	—	31.2	28.8	26.2	24.0	22.2	20.6	17.9	15.8	14.7	14.0	13.5	13.1	12.8	12.5	12.3	12.0	11.8	11.8	11.7	11.7	11.6	11.6	—	—	—	—
	2	20603490000	8	19.0	—	32.6	**30.5**	**28.1**	**26.1**	**24.3**	**22.7**	19.5	16.8	15.3	14.5	13.9	13.5	13.1	12.8	12.5	12.3	12.1	12.0	12.0	12.0	11.9	11.9	—	—	—	—
	3	20603260000	8	**20.4**	—	34.1	**30.3**	**27.9**	**26.0**	**24.6**	**23.0**	**21.2**	19.5	16.9	15.5	14.5	13.9	13.3	12.9	12.6	12.3	12.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	20603480000	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	20603630000	8	**21.5**	—	**36.1**	**31.8**	**28.9**	**27.0**	**26.0**	**24.2**	**22.2**	20.1	17.4	15.8	14.9	14.2	13.8	13.4	13.1	12.8	12.5	12.4	12.4	12.3	12.2	11.9	—	—	—	—
	6	20604930000	8	—	31.9	27.1	24.2	22.0	20.3	19.0	17.8	16.4	15.4	14.6	13.9	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	11.8	11.8	—	—	—	—	—	—	—
	7	20605360000	8	—	31.8	27.3	24.8	22.6	20.9	19.5	18.5	16.7	15.3	14.3	13.7	13.1	12.7	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.5	11.5	—	—
	8	WEA-REG-01	8	—	32.1	28.9	25.8	23.6	21.9	20.7	19.5	18.2	17.1	16.1	15.2	14.5	13.9	13.4	13.0	12.6	12.3	12.0	11.9	11.9	11.9	11.9	—	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt
Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.4.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	9	WEA-REG-02	8	—	33.5	29.8	27.3	25.2	23.7	22.8	22.2	20.2	18.2	16.8	15.8	15.0	14.4	13.9	13.5	13.2	12.9	12.6	12.5	12.5	12.4	12.4	—	—	—	—	—
	10	WEA-REG-03	8	—	32.9	27.8	24.9	22.6	20.8	19.4	18.4	16.8	15.7	14.9	14.4	13.9	13.6	13.3	13.0	12.7	12.5	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	—	—	—	—	—

A.3.5 Berechnungsvariante “Betriebsbeschraenkungen”

BBS definiert Ja
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.5.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																											
	Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	20602710000	10	18.2	—	31.8	29.8	27.2	25.1	23.3	21.9	18.7	16.1	14.8	14.1	13.6	13.2	12.9	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.8	11.7	11.7	11.6	—	—	—	—
	2	20603490000	10	19.5	—	33.4	31.5	29.1	27.1	25.4	23.8	20.4	17.4	15.6	14.6	14.0	13.6	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	—	—	—	—
	3	20603260000	10	—	—	34.3	30.0	27.7	26.0	24.8	23.2	21.7	20.2	17.4	15.8	14.8	14.0	13.4	13.0	12.6	12.4	12.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	20603480000	10	17.3	—	29.1	25.7	23.4	21.9	20.9	19.9	18.6	17.4	15.9	15.0	14.2	13.7	13.2	12.8	12.5	12.2	12.0	11.9	11.8	11.8	11.8	11.7	—	—	—	—
	5	20603630000	10	—	—	37.6	33.0	30.0	28.1	27.1	25.1	23.2	21.1	17.9	15.8	14.6	13.8	13.3	13.0	12.7	12.4	12.2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	—	—	—	—
	6	20604930000	10	—	32.1	27.5	24.7	22.5	20.7	19.5	18.1	16.7	15.6	14.7	14.0	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	11.8	11.8	—	—	—	—	—	—	—
	7	20605360000	10	—	32.0	27.6	25.3	23.1	21.4	20.1	19.1	17.1	15.4	14.4	13.7	13.2	12.8	12.4	12.1	11.9	11.7	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	—	—
	8	WEA-REG-01	10	—	32.2	29.2	26.1	23.8	22.1	20.9	19.6	18.3	17.2	16.2	15.4	14.6	14.0	13.5	13.0	12.6	12.3	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	—	—	—	—	—
	9	WEA-REG-02	10	—	33.8	30.1	27.8	25.8	24.3	23.3	22.7	20.6	18.4	16.9	15.9	15.1	14.5	14.0	13.6	13.2	12.9	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	—	—	—	—	—
	10	WEA-REG-03	10	—	33.1	28.0	25.3	23.0	21.2	19.9	18.9	17.1	15.8	15.0	14.5	14.0	13.6	13.3	13.0	12.8	12.6	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	—	—	—	—	—

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.4 Legende

Erläuterung der Begriffe		
	Geplante WEA	WEA, deren Standorteignung 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 gehen in die Berechnungen ein.
	Inaktive WEA	WEA, die nicht als Vorbelastung zu berücksichtigen sind und daher nicht in die Berechnungen eingehen. Diese WEA werden in der Regel nicht im Gutachten aufgeführt.
	Betrachtete WEA	Für alle betrachteten WEA werden Ergebnisse ausgewiesen und abschließende Aussagen getroffen.
	Windpark	Der Begriff wird im Sinne des Anhangs A der DIBt-Richtlinie von 2004 verwendet und umfasst “geplante” und “benachbarte” WEA.
	Referenzpunkt der Winddaten	Jeweiliger Standort, auf dessen Koordinaten sich die verwendeten Winddaten beziehen.

Farbliche Zuordnung der Symbole	
	Geplante WEA
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA zu betrachten sind.
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu betrachten sind, die aber Einfluss auf die zu betrachtenden WEA (,) ausüben. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in der Kartendarstellung abgebildet.
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu betrachten sind und die keinen Einfluss auf die zu betrachtenden WEA (,) ausüben. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in der Kartendarstellung abgebildet.
	Inaktive WEA.
	Referenzpunkte der Winddaten.
	Referenzpunkt der Winddaten auf den Koordinaten einer (in diesem Fall geplanten) WEA.

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.5 Abkürzungen und Formelzeichen

WEA	Windenergieanlage
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
NTM	Normales Windturbulenzmodell
DLC	Auslegungslastfall
PD	Potsdam-Datum
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion
WGS84	World Geodetic System 1984
WZ	Windzone
BBS	Betriebsbeschränkung
LR	Lastrechnung
GK	Geländekategorie
üNN	über Normal-Null

D	Rotordurchmesser	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der WEA	[m]
P_N	Nennleistung der WEA	[MW]
c_T	Schubbeiwert des Rotors	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität	[-]
A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibull-Verteilung	[-]
h	Höhe über Grund	[m]
m	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{ref}	Referenz-Windgeschwindigkeit (Auslegungswert für v_{50})	[m/s]
v_{50}	10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren	[m/s]
v_r	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{in}	Einschaltwingeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{out}	Abschaltwingeschwindigkeit der WEA	[m/s]
Σ	Summe	[-]
α	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils	[-]
α_n	Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils für neutrale Schichtung	[-]
φ	Neigung der Anströmung	[°]
β	Blattwinkelverstellung	[°]
γ_{start}	Startwinkel der BBS	[°]
γ_{stop}	Endwinkel der BBS	[°]
v_{start}	Startwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
v_{stop}	Endwindgeschwindigkeit der BBS	[m/s]
ρ	Mittlere Luftdichte	[kg/m^3]
τ_{design}	Entwurfslebensdauer in Jahren	[a]
	Altgrad (Vollkreis = 360°)	[°]

Copyright © 2020 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.