F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Wolfersweiler

Referenz-Nummer:
F2E-2019-TGT-037, Rev. 0.A - gekürzte Fassung

Auftraggeber:
HKS Windpark GmbH & Co.KG
Sebastian-Bach-Straße 68, 66287 Quierschied

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, 20.11.2019

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 20.11.2019

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 ungekürzten 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....20
3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte....20
3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort....22
3.3 Extremwind am Standort....22
3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort....22
3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen....22
4 Bestimmung der Standortbedingungen....22
4.1 Standortbesichtigung....22
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....24
5.2.1 Erläuterungen und Hinweise....25
5.2.2 Einschränkungen....25
5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten....25
5.3.1 Erläuterungen und Hinweise....26
5.3.2 Einschränkungen....27
6 Zusammenfassung....28
7 Literaturangaben....29
Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Wolfersweiler 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.

3 Eingangsdaten

3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte

Am Standort Wolfersweiler (Saarland) plant der Auftraggeber die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA 1). Am Standort befinden sich sechs 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 Auslegungswerte zugrunde gelegt. Der zu den Turbulenzkategorien gehörende windgeschwindigkeitsabhängige Verlauf ist im Anhang in Tabelle A.2.3.1 dargestellt.

***Tabelle 3.1.1**: Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA.*

WEA		Auslegungswerte										
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone	Turbulenzkategorie	τ_{design} [a]	v_{ave} [m/s]	k [-]	v_{ref} [m/s]	α [-]	φ [°]	ρ [kg/m³]	Quelle
	1	DIBt 2004	WZ III Anhang B WZ 4 GK I	A nach IEC Ed. 2 /2.1/	20	8.77	2.0	48.51	0.2	8	1.225	/3.3, 3.4/
	2, 5	DIBt 2004	---*	A nach IEC Ed. 2 /2.1/	---*	---*	---*	---*	---*	---*	---*	---
	3	DIBt 1993/1995	---*	konstant 20%	---*	---*	---*	---*	---*	---*	---*	---

---*: Da der Nachweis der Standorteignung der WEA nur hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA untereinander durch einen Vergleich mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität erfolgt, sind weitere Auslegungswerte nicht erforderlich (siehe Kapitel 2.1).

3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zum Standort Wolfersweiler wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3.1/ 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.

Über alle Richtungssektoren gemittelte Gesamtwerte der A- und k-Parameter lagen für die Weibull-Verteilung in /3.1/ nicht vor. Diese wurden aus den zur Verfügung gestellten sektoriellen Werten gemäß der Berechnungsvorschrift in /1.3/ ermittelt.

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

3.3 Extremwind am Standort

Als Eingangswert für den 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wird der Auslegungswert der Windzone verwendet.

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 16.05.2019 und 23.05.2019 von einem Mitarbeiter der Firma HKS Windpark GmbH & Co.KG besichtigt. Als Ergebnis dieser Besichtigung liegen uns folgende Unterlagen vor:

- Fotos vom Standort Wolfersweiler /3.2/,
- Standortbeschreibung inklusive Übersichtskarte zum Standort Wolfersweiler /3.2/.

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

Der Standort wurde anhand der vorliegenden Unterlagen /3.2/ in die Geländekategorie II - III nach /2.9/ eingeordnet.

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

Am Standort Wolfersweiler befindet sich ein Mobilfunkgittermast mit einer Höhe bis ca. 48m ü. NN /3.2/. Aufgrund der Abmessungen und Entfernungen zu den WEA kann die Einzelstruktur als nicht relevant eingestuft werden.

4.2 Ergebnisse Standortbedingungen

Die ermittelten Standortbedingungen sind in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.3 des Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.1.1 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.3.1.3 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.

Für die WEA 1 und 3 sind zusätzlich in Tabelle A.3.2.1 des Anhangs effektive Turbulenzintensitäten ohne Berücksichtigung der Turbulenzstrukturparameter dargestellt.

Die in Tabelle A.3.2.1 des Anhangs dargestellten effektiven Turbulenzintensitäten der WEA 1 und 3 können nicht mit den Auslegungswerten verglichen werden, da der Einfluss der Komplexität des Geländes in den effektiven Turbulenzintensitäten nicht enthalten ist.

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.3.1.3 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.

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 den Tabellen A.3.1.1 und A.3.1.3 des Anhangs dargestellten Werte

mit den Auslegungswerten der Tabelle 3.1.1. 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	WEA1a HKS	+	+	+	+	+	+	+	---
	2	WEA2a HKS	-	---					-	ja
	3	WEA3 HKS	-	---					-	ja
	5	WEA4 Geres	-	---					-	ja

5.2.1 Erläuterungen und Hinweise

- Die in der Tabelle A.3.2.1 im Anhang dargestellten effektiven Turbulenzintensitäten der WEA 1 und 3 können nicht mit den Auslegungswerten verglichen werden, da der Einfluss der Komplexität des Geländes in den effektiven Turbulenzintensitäten nicht enthalten ist.

5.2.2 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.3.1.1 - A.3.1.3 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.

Die Windbedingungen der Lastrechnung müssen die hier genannten Werte abdecken. Für Windbedingungen, die im Rahmen dieses Gutachtens nicht ermittelt wurden, können die entsprechenden Auslegungswerte verwendet werden. Standortspezifische Windbedingungen, die in diesem Gutachten nicht ermittelt wurden, werden im Rahmen der Prüfung der Lastrechnung nur auf Plausibilität überprüft.

Mit den Windbedingungen für die WEA 2, 3 und 5 wurden standortspezifische, detaillierte Lastrechnungen durchgeführt (siehe auch Kapitel 2.2). Die vorliegende standortspezifische, detaillierte Lastberechnung /3.5/ wird als richtig vorausgesetzt und wurde auf Plausibilität überprüft. Die mit den standortspezifischen Windbedingungen ermittelten relativen Einstufenkollektive für Blattanschluss-, Naben-, Turmfuß- und Turmkopfsystem wurden dahingehend überprüft, ob die Standorteignung der WEA 2, 3 und 5 gegeben ist. Die Überprüfung ergab keine Gefährdung der Standorteignung der WEA 2, 3 und 5.

Mit /3.6/ liegt uns zusätzlich eine Stellungnahme eines unabhängigen Gutachters zu der WEA 5 vor. Laut dieser Stellungnahme wurden auf Basis der Windbedingungen am Standort Wolfersweiler die Betriebsfestigkeitslasten an der Rotorblattwurzel, der Nabe, sowie an Turmkopf und Turmfuß anhand eines generischen Turbinenmodells berechnet und bewertet. Als Ergebnis ist laut Aussage dieses unabhängigen Gutachters die Standsicherheit der WEA 5 über den Betriebszeitraum von 20 Jahren durch die Errichtung der geplanten Windenergieanlage und die damit verbundene zusätzlich induzierte Turbulenzintensität nicht gefährdet /3.6/.

Die in /3.6/ getroffenen und überprüften Aussagen unterliegen den folgenden Auflagen und Annahmen:

- Es wird vorausgesetzt, dass das in /3.6/ verwendete generische Modell der WEA 5 die zertifizierten Lasten dieser WEA konservativ abbildet.
- Der WEA 5 liegt eine gültige Typenprüfung nach DIBt 2004 WZ III oder höher zugrunde und die Inbetriebnahme erfolgte im Jahr 2014 oder früher.

5.3.1 Erläuterungen und Hinweise

Die vorliegende standortspezifische Lastberechnung /3.5/ für die WEA 2, 3 und 5 gilt nur vorbehaltlich einer vorliegenden gültigen Typen- bzw. Einzelprüfung für die WEA 2, 3 und 5. Der Typen- bzw. Einzelprüfung müssen dabei mindestens die in /3.5/ unterstellten Auslegungslasten zugrunde liegen, die zu den in Tabelle 5.3.1.1

dargestellten Auslegungswerten gehören.

***Tabelle 5.3.1.1**: In /3.5/ zugrunde gelegte Auslegungswerte.*

WEA		Auslegungswerte				
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone	Turbulenzkategorie	τ_{design} [a]	v_{ave} [m/s]
	2	DIBt 2004	WZ III Anhang B WZ 4 GK I	A / I15 = 0.18	20	8.5
	3	DIBt 1993/1995	WZ III	TI = 20%, konstant	20	8.37
	5	DIBt 2004	WZ III Anhang B WZ 4 GK I	A / I15 = 0.18	20	8.8

Entsprechend /3.5/ gelten die dort getroffenen Aussagen für die in Tabelle 5.3.1.2 näher spezifizierten Turm- und Blattvarianten.

***Tabelle 5.3.1.2**: In /3.5/ betrachtete Turm- und Blattvarianten.*

WEA Lfd. Nr.	Anlagentyp	Turmbezeichnung	Blattbezeichnung
2	E-82 E2	E-82 E2/BF/83/17/01	E82-2
3	E-40/5.40	E-40/S/63/3/01	E40-3
5	E-82 E2	E-82 E2/BF/137/24/01	E82-2

5.3.2 Einschränkungen

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

6 Zusammenfassung

Am Standort Wolfersweiler (Saarland) plant der Auftraggeber die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA). Am Standort befinden sich sechs 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 der Tabelle 3.1.1 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.

***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.	1	---	---
Standorteignung der weiteren zu betrachtenden WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten nachgewiesen.	2, 3, 5*	---	---

*: Für die WEA 5 liegt zusätzlich eine Stellungnahme eines unabhängigen Gutachters vor /3.6/ (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/ Winddaten zum Standort Wolfersweiler als Datei 'Weibullverteilungen_WP_Wolfersweiler.xlsx' per E-Mail vom Meteorologisches Beratungsbüro Theunert am 03.07.2019.

/3.2/ Unterlagen zur Standortbesichtigung als Datei 'Standortbesichtigung Windpark Falkenberg.pdf' per E-Mail vom Auftraggeber am 03.06.2019.

/3.3/ TÜV NORD CERT GmbH; 1. Verlängerung der Typenprüfung Nr. T-7011/09 – 1, Rev. 2; 22.08.2016; Essen, Deutschland.

/3.4/ DEWI-OCC Offshore and Certification Centre GmbH; Gutachtliche Stellungnahme, Lastannahmen für die Windenergieanlage ENERCON E-82E2 mit der Rotorblattversion E82-2, Nabenhöhe 138 m; Bericht-Nr: R100353-1h-de rev. 0; 24.07.2009; Cuxhaven, Deutschland.

/3.5/ ENERCON GmbH; Ergebnisbericht; Standortspezifischer Lastvergleich; Standorteignung Windpark Wolfersweiler (pdf-Datei ohne Unterschrift); Version 2; Revision 0; Dokument-ID D0890968-0; 2019-11-08; Aurich, Deutschland; in Verbindung mit einer E-Mail vom Hersteller vom 14.11.2019.

/3.6/ TÜV SÜD Industrie Service GmbH; Gutachtliche Stellungnahme, Bewertung der Standsicherheit, Windenergieanlage Enercon E-82 E2, 2300 kW, 138 m Nabenhöhe über Fundamentoberkante; Prüfnummer: 3134861-1-d; 19.09.2019; München, Deutschland.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	Susann Heise, F2E
Kunde	HKS Windpark GmbH & Co.KG
Projektname	Wolfersweiler
Variante	—
Referenznummer	F2E-2019-TGT-037
Revision	0.A
Software	Wake2e 3.10.0.14
	WEA-Bibliothek Version 1.6.300
Koordinatensystem	Gauß-Krüger (Deutschland), Bessel (3°-Streifen)
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	23.05.2019
Durchgeführt von	Julian Ohnesorg, HKS Windpark GmbH & Co.KG
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein

Copyright © 2019 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	WEA1a HKS	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	82	138.38	2586873	5494016	1	—
	2	WEA2a HKS	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	82	84.58	2587097	5493827	2	—
	3	WEA3 HKS	ENERCON E-40 5.40	0.5	40.3	65	2587282	5494074	3	—
	4	WEA4 HKS	ENERCON E-58 10.58 10.58	1	58.6	70.5	2587544	5494037	4	—
	5	WEA4 Geres	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	82	138.38	2587029	5494246	5	—
	6	WEA3 Geres	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	82	138.38	2587696	5494370	6	—
	7	WEA2 Geres	ENERCON E-82 E2 2.3MW	2.3	82	138.38	2587450	5494547	7	—

A.2.3 Auslegungswerte

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	DIBt 2004	WZ III Anhang B	Charakteristisch	3	20	8.77	2	0.2	0.2	8	1.225	48.51
	2	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	—	—	Charakteristisch	1	—	—	—	—	—	—	—	—

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung (Continued)

5	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	Charakteristisch	2	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle A.2.3.2: Auslegungswerte der Turbulenzintensität I-des

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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
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
3	IEC Ed.2 A	—	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 wolfersweiler_rev0a_vara_windata.csv

Tabelle A.2.4.1: Wind-Datensatz "HKS-WKA1a_Vers1"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.939	6.65	6.234	5.543	5.588	6.016	7.352	8.317	7.915	7.469	6.966	7
k [-]	2.727	2.732	2.671	2.347	2.305	2.215	2.163	2.497	2.48	2.411	2.365	2.507
Häufigkeit (100%=1)	0.0336	0.0846	0.1179	0.0458	0.0313	0.0268	0.0562	0.2076	0.2373	0.0784	0.056	0.0243

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	7.30
k [-]	2.356
v_{ave} [m/s]	6.47

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	138.4
Rechts	2586873
Hoch	5494016

Tabelle A.2.4.2: Wind-Datensatz "HKS-WKA2a"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.328	6.051	5.896	5.34	5.261	5.584	6.773	7.809	7.62	7.107	6.078	5.985
k [-]	2.672	2.624	2.672	2.347	2.306	2.174	2.128	2.436	2.48	2.405	2.113	2.185
Häufigkeit (100%=1)	0.0335	0.0848	0.118	0.0455	0.0311	0.0267	0.0563	0.2083	0.2379	0.0781	0.0557	0.024

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	6.84
k [-]	2.298
v_{ave} [m/s]	6.06

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	85
Rechts	2587097
Hoch	5493827

Copyright © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.2.4.3: Wind-Datensatz "HKS-WKA3"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.31	5.891	5.719	5.101	5.212	5.645	6.75	7.573	7.247	6.813	6.205	6.324
k [-]	2.675	2.671	2.724	2.363	2.313	2.196	2.162	2.444	2.475	2.395	2.195	2.348
Häufigkeit (100%=1)	0.0334	0.0848	0.1181	0.0454	0.0309	0.0267	0.0564	0.2087	0.2383	0.0779	0.0555	0.0239

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	6.65
k [-]	2.329
v_{ave} [m/s]	5.89

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	65
Rechts	2587282
Hoch	5494074

Tabelle A.2.4.4: Wind-Datensatz "HKS-WKA4"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	5.995	5.864	5.796	5.21	5.286	5.584	6.611	7.529	7.352	6.673	6.503	6.245
k [-]	2.652	2.67	2.684	2.368	2.315	2.173	2.136	2.443	2.439	2.321	2.317	2.31
Häufigkeit (100%=1)	0.0334	0.0848	0.1181	0.0453	0.0309	0.0267	0.0564	0.2087	0.2383	0.0779	0.0555	0.0239

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	6.66
k [-]	2.319
v_{ave} [m/s]	5.91

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	70.5
Rechts	2587542
Hoch	5494038

Tabelle A.2.4.5: Wind-Datensatz "Geres WKA4"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.737	6.442	6.143	5.593	5.595	5.984	7.264	8.124	7.738	7.423	6.965	6.764
k [-]	2.792	2.717	2.684	2.362	2.303	2.2	2.158	2.483	2.45	2.411	2.36	2.393
Häufigkeit (100%=1)	0.0335	0.0847	0.118	0.0456	0.0311	0.0267	0.0563	0.2082	0.2378	0.0782	0.0558	0.024

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	7.17
k [-]	2.353
v_{ave} [m/s]	6.35

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	138.4
Rechts	2587030
Hoch	5494247

Tabelle A.2.4.6: Wind-Datensatz "Geres WKA3"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.567	6.332	6.396	5.7	5.727	6.044	7.09	8.354	7.847	7.57	7.061	6.761
k [-]	2.74	2.682	2.697	2.346	2.313	2.253	2.124	2.493	2.375	2.405	2.374	2.392
Häufigkeit (100%=1)	0.0334	0.0848	0.1181	0.0454	0.0309	0.0267	0.0564	0.2086	0.2382	0.078	0.0555	0.0239

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	7.27
k [-]	2.328
v_{ave} [m/s]	6.44

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	138.4
Rechts	2587697
Hoch	5494371

Tabelle A.2.4.7: Wind-Datensatz "Geres WKA2"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
A [m/s]	6.552	6.325	6.277	5.807	5.704	5.939	7.018	8.372	8.057	7.48	7.08	6.859
k [-]	2.733	2.679	2.62	2.336	2.319	2.192	2.108	2.492	2.451	2.412	2.384	2.463
Häufigkeit (100%=1)	0.0335	0.0847	0.1181	0.0456	0.031	0.0267	0.0564	0.2082	0.2379	0.0781	0.0557	0.024

Mittelwerte über alle Richtungen	
A [m/s]	7.31
k [-]	2.328
v_{ave} [m/s]	6.47

Koordinaten des Referenzpunkts	
Höhe über Grund [m]	138
Rechts	2587449
Hoch	5494547

Copyright © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2.5 Betriebsbeschränkungen (BBS)

A.2.5.1 Situation nach dem Zubau

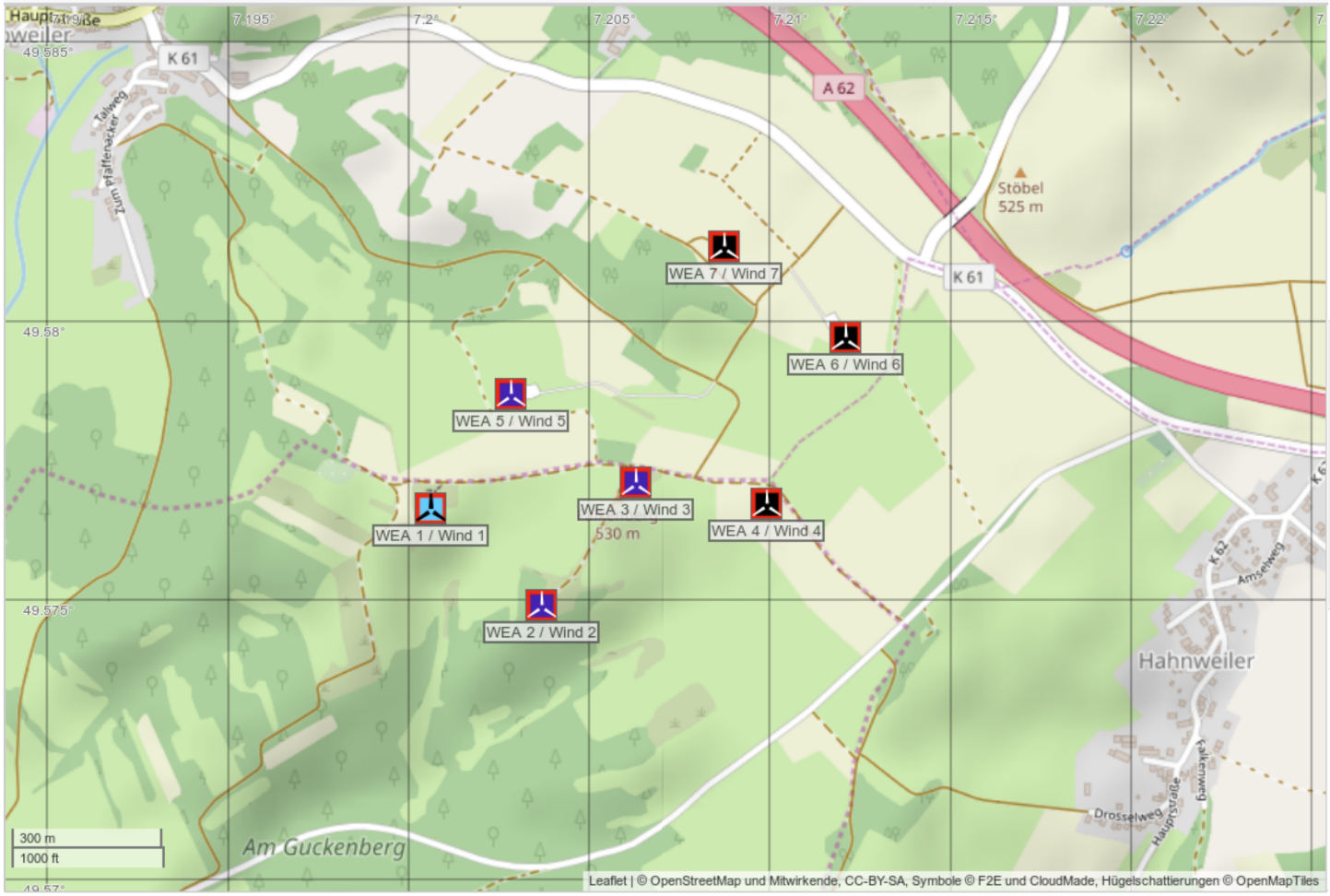
Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

A.2.5.2 Berechnungsvariante “Situation nach dem Zubau ohne Orografie”

Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

Copyright © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.2.6 Karte des Windparks



Copyright © 2019 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	Id	Entfernung	Id	Entfernung	Id	Entfernung	Id	Entfernung	Id	Entfernung
1	WEA1a HKS	5	3.39	2	3.57	7	9.56	3	10.25	6	10.93
2	WEA2a HKS	1	3.57	5	5.18	3	7.66	4	8.43	7	9.78
3	WEA3 HKS	5	3.73	2	3.76	4	4.52	1	5.04	7	6.12
5	WEA4 Geres	1	3.39	2	5.18	7	6.31	3	7.59	6	8.27

Copyright © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Nein
Einfluss der Orografie bewerten Ja
Ist Vorherfall Nein

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

WEA				Ergebnisse																											
	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	WEA1a HKS	10	—	37.4	31.9	28.8	26.5	24.8	23.3	21.9	20.7	19.5	16.3	14.9	14.2	13.8	13.4	13.1	12.9	12.6	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	12.5	12.6
	2	WEA2a HKS	10	—	39.3	33.3	29.7	**27.2**	**25.4**	**24.0**	**22.9**	**21.9**	**21.1**	17.7	15.5	14.3	13.6	13.0	12.6	12.3	12.0	11.8	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.8
	3	WEA3 HKS	10	**23.6**	41.5	**35.4**	**32.0**	**29.6**	**28.1**	**26.9**	**26.0**	**25.4**	**24.9**	**21.3**	18.8	17.5	16.6	15.9	15.4	14.9	14.6	14.3	14.2	14.2	14.1	14.1	14.1	—	—	—	—
	5	WEA4 Geres	10	—	36.1	31.1	28.3	26.3	**25.0**	**24.1**	**23.4**	**22.9**	**22.5**	18.9	16.3	15.0	14.0	13.3	12.8	12.3	12.0	11.7	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2

Tabelle A.3.1.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

WEA				Ergebnisse																										
	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	WEA1a HKS	10	44.1	38.0	34.5	31.9	30.1	28.7	27.5	26.6	25.9	21.5	18.4	16.7	16.0	15.7	15.4	15.2	14.9	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
	2	WEA2a HKS	10	50.1	43.0	38.9	36.0	33.9	32.2	30.9	29.9	29.1	24.5	21.3	19.5	18.3	17.3	16.6	15.9	15.4	15.0	14.8	14.7	14.6	14.5	14.4	14.3	14.3	14.2	14.2
	3	WEA3 HKS	10	50.3	43.1	39.0	36.0	33.8	32.2	30.8	29.8	29.0	24.5	21.5	19.8	18.6	17.6	16.9	16.4	16.1	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	—	—	—	—
	5	WEA4 Geres	10	42.1	36.3	33.0	30.5	28.8	27.4	26.3	25.4	24.8	20.5	17.5	15.9	14.7	13.8	13.3	13.1	12.8	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7

Tabelle A.3.1.3: 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	ENERCON E-82 E2 2.3MW	138.38	82	Nein	3.389	5	Nein	10	Ja	0.13	3.1	1.172	1 / I	34.3		7.3	7.14	2.356	6.47	6.32

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Copyright © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.

Tabelle A.3.1.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA (Continued)

2	ENERCON E-82 E2 2.3MW	84.58	82	Nein	3.574	1	Nein	10	Nein	0.15	4.2	1.179	1 / I	31.7		6.84	6.71	2.298	6.06	5.95
3	ENERCON E-40 5.40	65	40.3	Nein	3.73	5	Nein	10	Ja	0.15	0.5	1.180	1 / I	30.4		6.65	6.46	2.329	5.89	5.73
5	ENERCON E-82 E2 2.3MW	138.38	82	Nein	3.389	1	Nein	10	Nein	0.14	2.2	1.172	1 / I	34.3		7.17	7.01	2.353	6.35	6.21

A.3.2 Berechnungsvariante “Situation nach dem Zubau ohne Orografie”

BBS definiert Nein
Einfluss der Orografie bewerten Nein
Ist Vorherfall Nein

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

WEA				Ergebnisse																											
	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	WEA1a HKS	10	—	36.7	31.6	28.6	26.3	24.6	23.2	21.8	20.6	19.4	15.6	13.5	12.6	12.0	11.7	11.4	11.2	11.0	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.9	10.9	10.9
	2	WEA2a HKS	10	—	39.3	33.3	29.7	**27.2**	**25.4**	**24.0**	**22.9**	**21.9**	**21.1**	17.7	15.5	14.3	13.6	13.0	12.6	12.3	12.0	11.8	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.8
	3	WEA3 HKS	10	**22.1**	39.5	33.6	**30.2**	**27.9**	**26.3**	**25.1**	**24.2**	**23.5**	**23.0**	19.5	17.2	15.9	15.0	14.4	13.8	13.4	13.0	12.7	12.6	12.5	12.5	12.4	12.4	—	—	—	—
	5	WEA4 Geres	10	—	36.1	31.1	28.3	26.3	**25.0**	**24.1**	**23.4**	**22.9**	**22.5**	18.9	16.3	15.0	14.0	13.3	12.8	12.3	12.0	11.7	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2

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

WEA				Ergebnisse																										
	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	WEA1a HKS	10	44.1	38.0	34.5	31.9	30.1	28.7	27.5	26.6	25.9	21.5	18.4	16.7	15.5	14.6	13.9	13.3	13.0	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
	2	WEA2a HKS	10	50.1	43.0	38.9	36.0	33.9	32.2	30.9	29.9	29.1	24.5	21.3	19.5	18.3	17.3	16.6	15.9	15.4	15.0	14.8	14.7	14.6	14.5	14.4	14.3	14.3	14.2	14.2
	3	WEA3 HKS	10	50.3	43.1	39.0	36.0	33.8	32.2	30.8	29.8	29.0	24.5	21.5	19.8	18.6	17.6	16.9	16.3	15.8	15.4	15.2	15.1	15.0	14.9	14.8	—	—	—	—
	5	WEA4 Geres	10	42.1	36.3	33.0	30.5	28.8	27.4	26.3	25.4	24.8	20.5	17.5	15.9	14.7	13.8	13.3	13.1	12.8	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7

Copyright © 2019 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 © 2019 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 © 2019 F2E Fluid & Energy Engineering. Alle Rechte vorbehalten.