



Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Schälker Heide / Schwerte

Referenz-Nummer:

F2E-2021-TGY-076, Rev. 1 - gekürzte Fassung

Auftraggeber:

ABO Wind AG

Unter den Eichen 7, 65195 Wiesbaden

Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, www.f2e.de

Verfasser:

B.Eng. Philipp Kluth, Sachverständiger,

Hamburg, 18.11.2021

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 18.11.2021

Für weitere Auskünfte:

Tel.: 040 53303680-0

Fax: 040 53303680-79

Philipp Kluth: kluth@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.....	11
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.....	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.....	23
5	Nachweis der Standorteignung.....	24
5.1	Allgemeine Hinweise.....	24
5.2	Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen.....	24
5.2.1	Betriebsbeschränkungen.....	24
5.2.2	Einschränkungen.....	25
5.3	Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten.....	25
6	Zusammenfassung.....	26
7	Literaturangaben.....	28
	Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Schälker Heide / Schwerte	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 Schälker Heide / Schwerte (Nordrhein-Westfalen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA 1 und 2). Am Standort befinden sich drei weitere benachbarte WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs bzw. in Abschnitt A.2.7 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 und Quellenangaben siehe Anhang Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 sowie A.5).

WEA		Auslegung	
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone
	1, 2	DIBt 2012	WZ S
	3 - 5	DIBt 2012	---

3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zum Standort Schälker Heide / Schwerte 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.

Die verwendeten Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung im Windpark am Standort Schälker Heide / Schwerte 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.2.6 des Anhangs dargestellt.

Es sind zusätzlich die in Tabelle 5.2.1.1 aufgeführten Betriebsbeschränkungen umzusetzen.

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 Schälker Heide / Schwerte wurde am 16.07.2021 besichtigt /3.2/.

Der Standort lässt sich in die Geländekategorie III nach /2.9/ einordnen.

Relevante Einzelstrukturen, deren Nachlaufströmungen gesondert zu betrachten wären, wurden nicht identifiziert.



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.

In Tabelle A.2.5.1 ist eine Übersicht aller durchgeführten Berechnungsvarianten dargestellt.

Es sind zusätzlich in den Tabellen A.3.2.1 - A.3.4.1 des Anhangs effektive Turbulenzintensitäten für die Wöhlerlinien-Koeffizienten $m = 4, 9$ und 10 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.3.1.3 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 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 (+: erfüllt, -: nicht erfüllt, ---: Bewertung nicht erforderlich).

WEA			Einzelergebnisse						Gesamtergebnis
Lfd. Nr.	Bezeichnung	I_{eff}	α	φ	ρ	A, k	v_{50}		
	1	WEA01	-	---	---	---	+	+	-
	2	WEA02	-	+	+	+	+	+	-
	3	WEA03	-	---					-
	4	WEA04	-	---					-
	5	WEA05	-	---					-

5.2.1 Betriebsbeschränkungen

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

Die Standorteignung der betroffenen WEA 1 - 5 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 den Tabellen A.2.6.1.1 und 5.2.1.1 dargestellt. Zu den implizit mit abgedeckten alternativen Betriebsbeschränkungen siehe Kapitel 2.5.1.

In Kapitel A.3.5 in Tabelle A.3.5.1 sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Betriebsbeschränkungen gemäß Tabelle A.2.6.1.1 dargestellt. Die Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität an den WEA 1, 3 und 4 liegen außerhalb des zu betrachtenden Windgeschwindigkeitsbereiches (siehe Kapitel 2.1) und werden als vernachlässigbar bewertet.

Für die WEA 2 und 5 ergibt sich ein Teil der Überschreitungen bereits aus der Umgebungsturbulenzintensität. Daher sind für den relevanten Windgeschwindigkeitsbereich die Betriebsbeschränkungen gemäß Tabelle 5.2.1.1 vorzusehen.

***Tabelle 5.2.1.1:** Vorgaben für die sektorielle Betriebsbeschränkung zur Gewährleistung der Standorteignung der WEA 2 und 5 hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität.*

Definition der sektoriellen Betriebsbeschränkung		
Art der Beschränkung	Sektor (0° = geografisch Nord)	Windgeschwindigkeitsbereich [m/s]
Abschaltung WEA 2	alle	7.5 – 15.5
Abschaltung WEA 5	alle	7.5 – 13.5

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 und A.3.2.1 - 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.

Die Richtlinien /2.1 - 2.4, 2.6 - 2.8/ definieren keine Anwendungsgrenzen für die Verwendung effektiver Turbulenzintensitäten als Eingangsdaten für eine Lastrechnung hinsichtlich enger Abstände zwischen den WEA. Grundsätzlich gelten die effektiven Turbulenzintensitäten auch im sogenannten near-wake-Bereich, der sich auf einen Abstand von etwa 2 bis 3 Rotordurchmesser hinter der WEA erstreckt /1.4/. Werden Lastrechnungsmodelle im near-wake-Bereich eingesetzt, wird deren Anwendbarkeit vorausgesetzt. Besondere Anforderungen an die Modellierung, die eventuell in den verschiedenen Lastrechnungsmodellen für den near-wake-Bereich existieren, obliegen der Verantwortung des Erstellers der Lastrechnung und sind nicht Teil der hier durchgeführten Plausibilitätsprüfung der Lastrechnung.

Ein entsprechender Berechnungsbericht liegt für die WEA 1 - 5 nicht vor.

6 Zusammenfassung

Am Standort Schälker Heide / Schwerte (Nordrhein-Westfalen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich drei 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 berücksichtigte Entwurfslebensdauer der geplanten WEA ist in Tabelle A.2.3.1 dargestellt.

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 in Kapitel 2.5.1 erläutert.

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	Nr. 1 Tabelle A.2.6.1.1*	---
	2	Tabelle 5.2.1.1*	
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.	3	Nr. 2 Tabelle A.2.6.1.1**	---
	4	Nr. 3 Tabelle A.2.6.1.1**	
	5	Tabelle 5.2.1.1**	

*: 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).

**.: Es handelt sich um eine bereits bestehende Betriebsbeschränkung, die im Rahmen der Planung der WEA definiert wurde. 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; Sevetal, 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/ Digitales Geländemodell zum Standort Schälker Heide als Datei "iserlohn.asc" per E-Mail vom Auftraggeber am 12.02.2021.
- /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, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).



- /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/ Ramboll Deutschland GmbH; windPRO Ergebnisausdrucke, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt 16-1-2051-001 Schälker-Heide; Vorabschätzungen; 28.01.2021 und 06.07.2021; Kassel, Deutschland.
- /3.2/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Schälker Heide / Schwerte; Referenz-Nr.: F2E-2021-TGV-027; Juli 2021; Hamburg, Deutschland.



A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	Philipp Kluth, F2E
Kunde	ABO Wind AG
Projektname	Schälker Heide / Schwerte
Variante	—
Referenznummer	F2E-2021-TGY-076
Revision	1
Software	Wake2e 3.10.5.5
Koordinatensystem	WEA-Bibliothek Version 7.370.0
Abstand der relevanten WEA	UTM WGS84/ETRS89, Nord-Hemisphäre 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	16.07.2021
Durchgeführt von	Dietmar Hahm für F2E
Ermittelte Geländekategorie	III
Orographisch relevante Struktur	Nein

A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
Dateiname iserlohn.asc
Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.
Höhendaten Höhendaten vom Anwender hochgeladen

A.2.2 Windparkkonfiguration

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

Nr.	Bezeichnung	WEA					Koordinaten		Datensatz-Nr.	
		WEA-Typ	P _N [MW]	D [m]	Z _{hub} [m]	Ost	Nord	Wind	Turbulenz	
1	WEA01	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	5.7	149.1	125.4	32403626	5694439	1	—	
2	WEA02	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	5.7	149.1	125.4	32403508	5694053	2	—	
3	WEA03	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	5.7	149.1	164	32402452	5694279	3	—	
4	WEA04	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	5.7	149.1	164	32402836	5694183	4	—	
5	WEA05	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	5.7	149.1	164	32403136	5693914	5	—	

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	v ₅₀	Quellen
1	DIBt 2012	WZ5	Repräsentativ	18	20	7.5	2.4	0.28	0.28	8	1.237	42 /A.1/
2	DIBt 2012	WZ5	Repräsentativ	18	20	7.5	2.4	0.28	0.28	8	1.237	42 /A.1/
3	DIBt 2012	WZ5	Repräsentativ	18	20	7.5	2.4	0.25	0.25	8	1.237	42 /A.2/

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

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	Quellen
4	DIBt 2012	WZS	Repräsentativ	18	20	7.5	2.4	0.25	0.25	8	1.237	42	/A.2/
5	DIBt 2012	WZS	Repräsentativ	18	20	7.5	2.4	0.25	0.25	8	1.237	42	/A.2/

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
18	Nordex N163/5.5/6.X / N149/5.7 / N149/4380 IEC	—	33.2	28.2	25.3	23.3	21.9	20.8	20.0	19.3	18.8	18.3	17.9	17.6	17.3	17.1	16.9	16.7	16.5	16.3	16.2	16.1	15.9	15.8	15.7	15.6	—	—	—

A.2.4 Winddaten

Quelle
Dateiname

Externe Datei
winddata_schaelker_heide_schwerte_rev1.csv

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

A [m/s]	k [-]	Häufigkeit (100%=1)	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts		
															A [m/s]	k [-]	v _{ave} [m/s]	Höhe über Grund [m]	Ost	Nord
6.04	2.186	5.35	4.01	4.22	4.58	4.57	5.12	6.95	7.56	6.45	6.54	6.05	5.12	4.35	6.04	2.186	5.35	125.4	32403626	5694439

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

A [m/s]	k [-]	Häufigkeit (100%=1)	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts		
															A [m/s]	k [-]	v _{ave} [m/s]	Höhe über Grund [m]	Ost	Nord
6.05	2.182	5.36	4.01	4.32	4.66	4.52	4.96	6.72	7.59	6.62	6.65	5.95	4.88	4.25	6.05	2.182	5.36	125.4	32403508	5694053

Tabelle A.2.4.3: Wind-Datensatz "Wind 3"

A [m/s]	k [-]	Häufigkeit (100%=1)	Mittelwerte über alle Richtungen										Koordinaten des Referenzpunkts	
			N	NNO	ONO	O	OSO	S	SSW	W	WNW	NNW	Höhe über Grund [m]	164
4.32	4.58	5.16	5.13	5.9	7.64	8.45	7.51	7.69	6.98	5.6	4.71	6.86	Aus der Eingabedatei	32402452
1.971	2.006	2.279	2.127	2.178	2.318	2.764	2.623	2.549	2.213	2.131	2.107	2.186	Aus der Eingabedatei	5694279
0.031	0.044	0.067	0.051	0.049	0.089	0.144	0.149	0.175	0.114	0.052	0.034	6.08	Aus der Eingabedatei	

Tabelle A.2.4.4: Wind-Datensatz "Wind 4"

A [m/s]	k [-]	Häufigkeit (100%=1)	Mittelwerte über alle Richtungen										Koordinaten des Referenzpunkts	
			N	NNO	ONO	O	OSO	S	SSW	W	WNW	NNW	Höhe über Grund [m]	164
4.32	4.55	5.03	4.92	5.58	7.5	8.43	7.45	7.49	6.69	5.43	4.64	6.73	Aus der Eingabedatei	32402845
1.971	2.01	2.287	2.123	2.209	2.311	2.76	2.623	2.545	2.209	2.139	2.111	2.174	Aus der Eingabedatei	5694210
0.032	0.045	0.067	0.049	0.047	0.089	0.148	0.153	0.174	0.11	0.052	0.034	5.96	Aus der Eingabedatei	

Tabelle A.2.4.5: Wind-Datensatz "Wind 5"

A [m/s]	k [-]	Häufigkeit (100%=1)	Mittelwerte über alle Richtungen										Koordinaten des Referenzpunkts	
			N	NNO	ONO	O	OSO	S	SSW	W	WNW	NNW	Höhe über Grund [m]	164
4.44	4.57	4.94	4.82	5.59	7.68	8.62	7.45	7.34	6.58	5.52	4.8	6.75	Aus der Eingabedatei	32403136
1.971	2.021	2.287	2.123	2.205	2.299	2.752	2.623	2.549	2.213	2.127	2.104	2.158	Aus der Eingabedatei	5693914
0.034	0.046	0.065	0.047	0.047	0.091	0.154	0.153	0.167	0.107	0.054	0.036	5.98	Aus der Eingabedatei	

A.2.5 Berechnungsvarianten

Tabelle A.2.5.1: Berechnungsvarianten

Id	Beschriftung	BBS-Gruppe	Wöhlerlinien-Koeffizient	Einfluss der Orografie ignorieren	Ergebnisse im Abschnitt
2	Situation nach dem Zubau	—	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.1
3	Wöhlerlinienkoeffizient m=4	—	4	Nein	A.3.2
4	Wöhlerlinienkoeffizient m=9	—	9	Nein	A.3.3
5	Wöhlerlinienkoeffizient m=10	—	10	Nein	A.3.4
6	Betriebsbeschränkungen	1	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.5

A.2.6 Betriebsbeschränkungen (BBS)

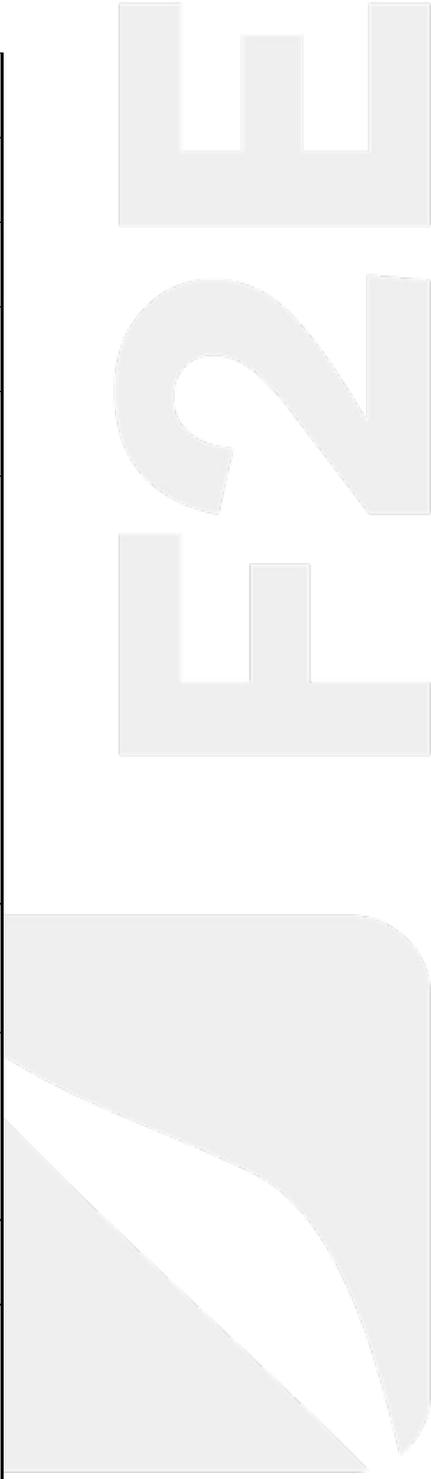
A.2.6.1 BBS-Gruppe 1



F2E

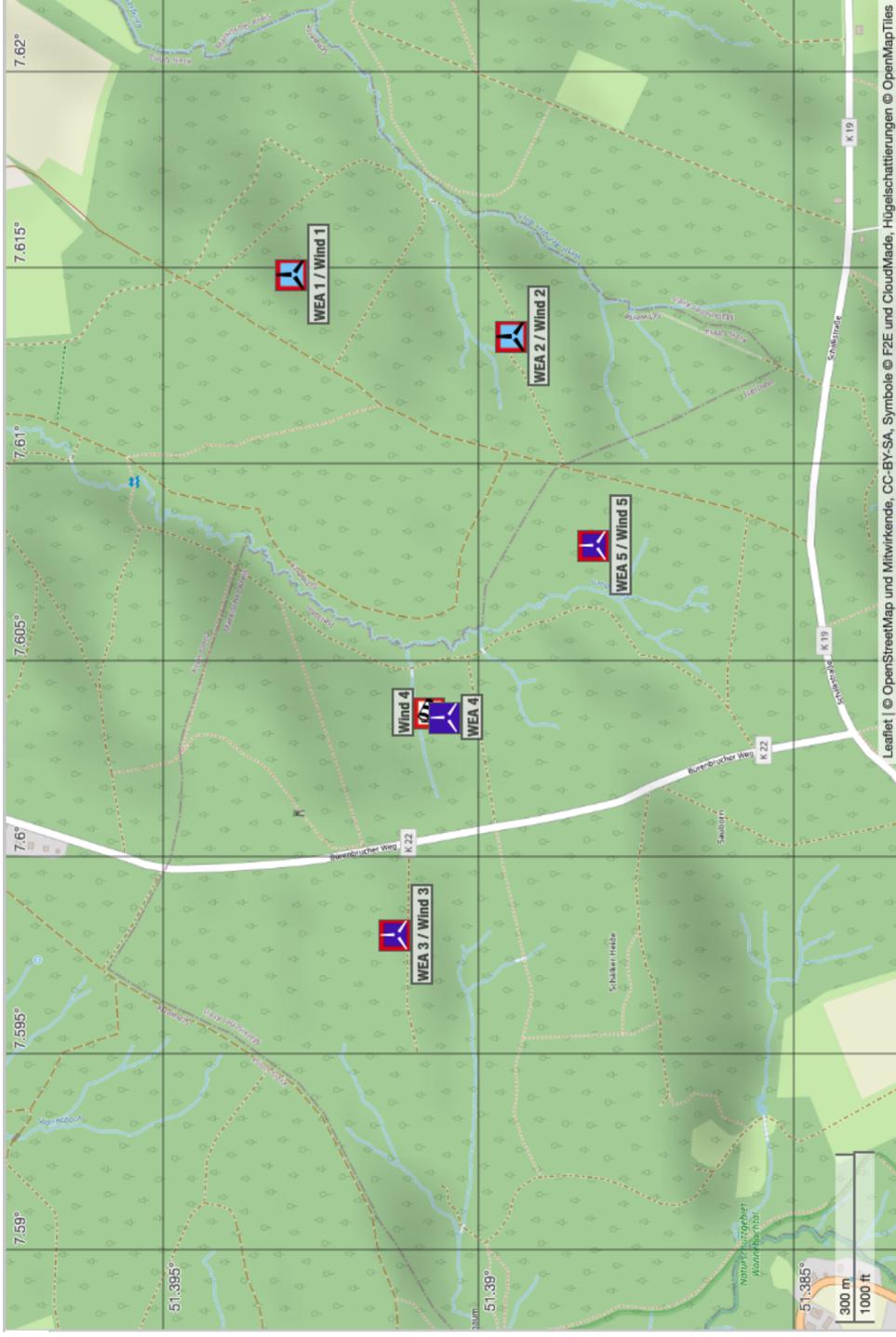
Tabelle A.2.6.1.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1

Nr.	Beschränkte WEA		Zu schützende WEA				Beschränkungen				
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abschaltung	Betriebsmodus	β [°]	γ_{start} [°]	γ_{stop} [°]	v_{start} [m/s]	v_{stop} [m/s]
1	2	WEA02	1	WEA01	X	-	169.6	222.2	7.5	14.5	
	4	WEA04	1	WEA01	X	-	238.6	263.4	7.8	9.9	
	5	WEA05	1	WEA01	X	-	207.5	236.3	7.8	10.9	
2	4	WEA04	3	WEA03	X	-	76	129.8	7.5	10.5	
3	3	WEA03	4	WEA04	X	-	256	309.8	7.5	13.5	
5	5	WEA05	4	WEA04	X	-	104.4	157.2	7.5	10.5	





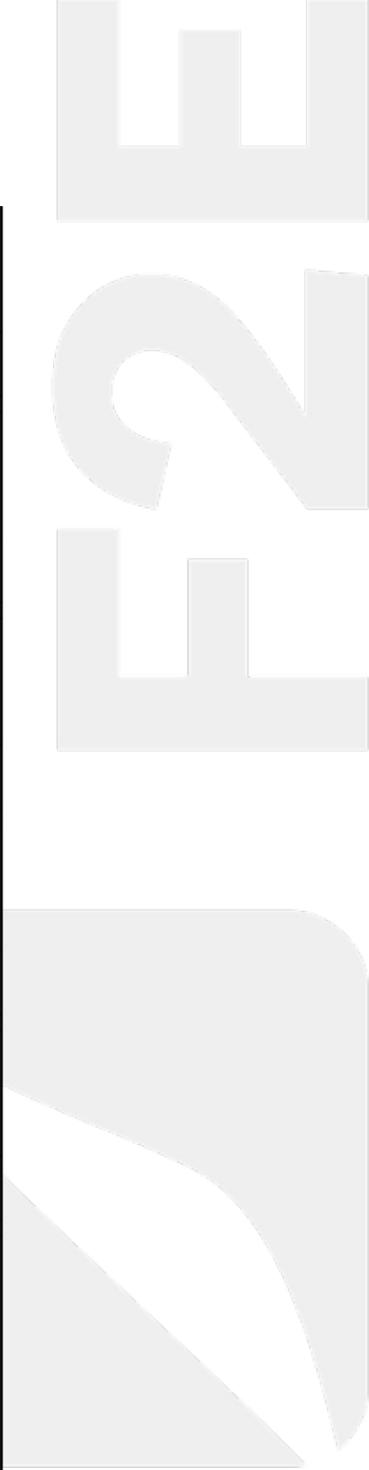
A.2.7 Karte des Windparks



A.2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

Tabelle A.2.8.1: Abstände zu den nächsten fünf aktiven WEA in Rotordurchmessern der jeweiligen Nachbar-WEA

Nr.	WEA Bezeichnung	Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
		Nr.	Entfernung								
1	WEA01	2	2.71	5	4.82	4	5.57	3	7.95		
2	WEA02	5	2.66	1	2.71	4	4.59	3	7.24		
3	WEA03	4	2.65	5	5.20	2	7.24	1	7.95		
4	WEA04	3	2.65	5	2.70	2	4.59	1	5.57		
5	WEA05	2	2.66	4	2.70	1	4.82	3	5.20		





A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Ja Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja Nein
 Ist Vorherfall Ja Nein

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	WEA01	14	—	37.6	34.5	34.4	33.2	31.3	29.5	26.9	25.1	23.4	21.6	19.7	18.2	16.9	16.0	15.3	14.8	14.4	14.0	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	13.7	—	—	—
2	WEA02	14	—	39.8	35.7	35.4	34.1	32.2	30.4	27.8	26.0	24.4	22.6	21.0	19.7	18.6	17.9	17.4	16.9	16.6	16.3	16.2	16.1	16.0	15.9	15.9	15.8	—	—	—
3	WEA03	14	—	34.7	31.2	30.6	29.0	26.7	24.7	22.0	20.1	18.5	16.9	15.8	15.2	14.7	14.4	14.1	13.9	13.7	13.6	13.6	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	—	—	—
4	WEA04	14	—	35.0	32.1	31.9	30.7	28.7	26.9	24.4	22.7	21.2	19.6	18.1	16.9	16.0	15.3	14.9	14.5	14.2	14.0	13.9	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	—	—	—
5	WEA05	14	—	37.8	32.9	31.8	30.1	27.8	25.7	23.1	21.3	19.9	18.8	18.0	17.5	17.1	16.8	16.5	16.3	16.0	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	—	—	—

Tabelle A.3.1.2: 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	WEA01	14	40.8	38.2	38.1	36.6	34.4	32.4	29.6	27.7	26.0	24.2	22.4	20.8	19.5	18.4	17.6	16.8	16.3	15.9	15.7	15.6	15.4	15.2	15.0	14.9	—	—	—	—	
2	WEA02	14	42.5	38.7	38.6	37.1	34.9	32.8	30.0	28.1	26.4	24.5	22.6	21.1	19.7	18.6	17.7	17.2	17.0	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	—	—	—	—
3	WEA03	14	38.1	36.1	36.2	34.9	32.8	30.9	28.1	26.3	24.7	22.9	21.1	19.6	18.3	17.2	16.4	15.7	15.2	14.7	14.6	14.4	14.2	14.0	14.0	14.0	—	—	—	—	—
4	WEA04	14	37.0	35.1	35.3	34.0	31.9	30.1	27.4	25.6	24.0	22.2	20.5	19.0	17.7	16.7	15.9	15.2	14.7	14.3	14.1	14.0	13.9	13.9	13.9	13.9	—	—	—	—	—
5	WEA05	14	40.9	35.5	35.5	34.2	32.1	30.2	27.6	25.8	24.2	22.4	20.7	19.2	18.0	17.2	16.9	16.6	16.3	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	—	—	—	—

Tabelle A.3.1.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

Nr.	WEA-Eigenschaften				Ergebnisse															
	WEA-Typ	z_{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	α_n [-]	φ [°]	ρ [kg/m ³]	WZ	v_{50} GK1 [m/s]	v_{50} GK2 [m/s]	A [m/s]	A ρ_{korrr} [m/s]	k [-]	v_{ave} [m/s]	v_{ave} ρ_{korrr} [m/s]
1	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	125.4	149.1	Nein	2.707	2	Nein	14	Nein	0.16	2.2	1.207	1/II	33.7		6.04	5.97	2.186	5.35	5.28
2	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	125.4	149.1	Nein	2.663	5	Nein	14	Ja	0.16	1.0	1.205	1/II	33.7		6.05	5.97	2.182	5.36	5.29
3	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	164	149.1	Nein	2.654	4	Nein	14	Nein	0.15	2.7	1.202	1/I	35.2		6.86	6.77	2.186	6.08	5.99
4	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	164	149.1	Nein	2.654	3	Nein	14	Nein	0.15	1.6	1.201	1/I	35.2		6.73	6.63	2.174	5.96	5.87
5	Nordex N149/5.X Mode 0.5.7MW (HH120m on request)	164	149.1	Nein	2.663	2	Nein	14	Ja	0.15	1.1	1.199	1/I	35.2		6.75	6.65	2.158	5.98	5.89

A.3.2 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=4"

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

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

Nr.	Bezeichnung	m	Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																																	
			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	WEA01	4	—	37.3	32.8	31.3	29.8	28.2	26.6	24.4	22.8	21.3	19.8	18.4	17.3	16.4	15.7	15.1	14.7	14.3	14.0	13.9	13.8	13.8	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7			
2	WEA02	4	—	39.7	34.9	33.1	31.4	29.6	28.0	25.9	24.5	23.1	21.8	20.5	19.5	18.7	18.1	17.6	17.1	16.7	16.4	16.3	16.2	16.1	16.0	16.0	16.0	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9		
3	WEA03	4	—	34.4	29.2	26.3	23.9	21.8	20.1	18.6	17.5	16.6	15.9	15.4	15.0	14.6	14.3	14.1	13.8	13.6	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	
4	WEA04	4	—	34.8	30.5	28.7	26.8	24.9	23.2	21.3	19.9	18.8	17.8	16.9	16.2	15.6	15.2	14.8	14.5	14.3	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.0	14.0	14.0	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
5	WEA05	4	—	38.0	32.6	29.9	27.3	24.9	22.9	21.2	20.0	19.0	18.3	17.8	17.3	17.0	16.7	16.4	16.2	16.0	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7

A.3.3 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=9"

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	WEA01	9	—	37.2	33.6	33.0	31.8	30.0	28.3	25.8	24.1	22.4	20.7	19.0	17.6	16.6	15.8	15.2	14.7	14.3	14.0	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	13.8	13.7	—	—
2	WEA02	9	—	39.6	35.2	34.3	33.0	31.1	29.4	26.9	25.3	23.7	22.1	20.6	19.5	18.6	17.9	17.4	17.0	16.6	16.3	16.2	16.1	16.0	15.9	15.8	15.8	—	—	—
3	WEA03	9	—	34.4	30.0	28.5	26.6	24.4	22.3	20.0	18.5	17.2	16.2	15.5	15.0	14.7	14.4	14.1	13.9	13.7	13.5	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	—	—
4	WEA04	9	—	34.8	31.3	30.6	29.2	27.3	25.5	23.1	21.5	20.1	18.7	17.4	16.5	15.8	15.2	14.8	14.5	14.2	14.0	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.8	—	—
5	WEA05	9	—	37.7	32.6	30.8	28.8	26.4	24.3	22.0	20.5	19.4	18.5	17.9	17.4	17.1	16.8	16.5	16.2	16.0	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	—	—	—

A.3.4 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=10"

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	WEA01	10	—	37.3	33.8	33.3	32.2	30.3	28.6	26.1	24.3	22.7	20.9	19.1	17.8	16.6	15.8	15.2	14.7	14.3	14.0	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	13.8	13.7	—	—
2	WEA02	10	—	39.6	35.3	34.6	33.3	31.4	29.6	27.1	25.4	23.9	22.2	20.7	19.5	18.6	17.9	17.4	16.9	16.6	16.3	16.2	16.1	16.0	15.9	15.8	15.8	—	—	—
3	WEA03	10	—	34.4	30.2	29.0	27.2	24.9	22.9	20.4	18.8	17.4	16.3	15.6	15.1	14.7	14.4	14.1	13.9	13.7	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.7	—	—
4	WEA04	10	—	34.9	31.4	30.9	29.6	27.6	25.9	23.4	21.8	20.4	18.9	17.6	16.6	15.8	15.2	14.8	14.5	14.2	14.0	13.9	13.9	13.9	13.9	13.8	13.8	—	—	—
5	WEA05	10	—	37.7	32.7	31.0	29.1	26.7	24.6	22.2	20.6	19.5	18.6	17.9	17.5	17.1	16.8	16.5	16.2	16.0	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	—	—	—



A.3.5 Berechnungsvariante “Betriebsbeschränkungen”

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	WEA01	14	—	37.6	34.5	34.4	33.2	31.3	20.0	19.0	19.1	18.8	17.9	17.0	16.3	16.9	16.0	15.3	14.8	14.4	14.0	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	13.7	—	—	—
2	WEA02	14	—	39.8	35.7	35.4	34.1	32.2	30.4	27.8	26.0	24.4	22.6	21.0	19.7	18.6	17.9	17.4	16.9	16.6	16.3	16.2	16.1	16.0	15.9	15.9	15.8	—	—	—
3	WEA03	14	—	34.7	31.2	30.6	29.0	26.7	19.1	18.0	17.2	18.5	16.9	15.8	15.2	14.7	14.4	14.1	13.9	13.7	13.6	13.6	13.6	13.7	13.7	13.7	13.7	—	—	—
4	WEA04	14	—	35.0	32.1	31.9	30.7	28.7	19.4	18.2	17.3	18.5	17.1	16.1	16.9	16.0	15.3	14.9	14.5	14.2	14.0	13.9	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	—	—	—
5	WEA05	14	—	37.8	32.9	31.8	30.1	27.8	25.7	23.1	21.3	19.9	18.8	18.0	17.5	17.1	16.8	16.5	16.3	16.0	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	—	—	—

A.4 Legende

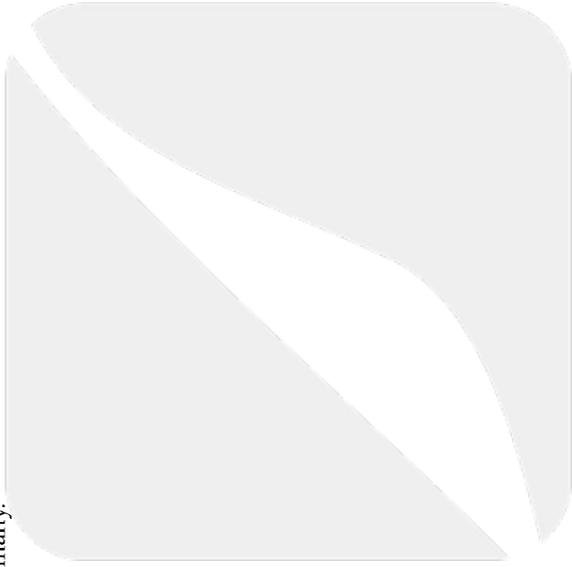
Erläuterung der Begriffe	
	Geplante WEA
	Benachbarte WEA
	Inaktive WEA
	Betrachtete WEA
	Windpark
	Referenzpunkt der Winddaten
	WEA, deren Standortierung im Rahmen des Gutachtens zu bewerten ist.
	Alle weiteren WEA, die vom Auftraggeber übermittelt wurden. Es ist dabei unerheblich, ob sich einzelne benachbarte 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.
	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.
	Für alle betrachteten WEA werden Ergebnisse ausgewiesen und abschließende Aussagen getroffen.
	Der Begriff wird im Sinne des Anhangs A der DIBt-Richtlinie von 2004 verwendet und umfasst "geplante" und "benachbarte" WEA.
	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.



A.5 Literaturangaben

- /A.1/ Nordex Energy SE & Co. KG; Design Information for Wind & Site Assessment, N149/5.7 Delta 50Hz NCV TS125-04 DIBt S / IEC S; 10.09.2021; Hamburg, Germany.
- /A.2/ Nordex Energy SE & Co. KG; Design Information for Wind & Site Assessment, N149/5.7 Delta 50Hz NCV TCSI64B-01 (N21) DIBt S; 13.08.2021; Hamburg, Germany.



F2E

A.6 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
CK	Geländekategorie
üNN	über Normal-Null

D	Rotordurchmesser	[m]
Zhub	Nähenhöhe der WEA	[m]
P _N	Nennleistung der WEA	[MW]
CT	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}	Einschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v _{out}	Abschaltwindgeschwindigkeit 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]
	Allgrad (Vollkreis = 360°)	[°]