



Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Zichtow

Referenz-Nummer:

F2E-2019-TGT-039, Revision 1 - gekürzte Fassung

Auftraggeber:

Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG
Dorfstr. 53, 16816 Nietwerder

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, 24.04.2019

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger, Hamburg, 24.04.2019

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..... | 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..... | 23 |
| 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..... | 24 |
| 5.2.1 Erläuterungen und Hinweise..... | 25 |
| 5.2.2 Einschränkungen..... | 25 |
| 5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten..... | 25 |
| 6 Zusammenfassung..... | 27 |
| 7 Literaturangaben..... | 28 |
| Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Zichtow | 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.



Tabelle 2.5.1.1: Allgemeines Beispiel für alternative Betriebsbeschränkungen (Erläuterungen zu den Symbolen siehe Anhang Kapitel A.5).

| Alternative | Eingeschränkte WEA | Zu schützende WEA | Abschaltung | Betriebsmodus | β [°] | γ_{start} [°] | γ_{stop} [°] | v_{start} [m/s] | v_{stop} [m/s] |
|-------------|--------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1a | WEA n | WEA m | X | - | - | 10.2 | 44.7 | 5.5 | 9.5 |
| 1b | WEA m | WEA m | X | - | - | 10.2 | 44.7 | 5.5 | 9.5 |
| 2 | WEA n | WEA m | - | - | 3 | 10.2 | 44.7 | 5.5 | 9.5 |
| 3 | WEA n | WEA m | - | 1.6MW | - | 10.2 | 44.7 | 5.5 | 9.5 |

Aufgeführte Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wird nicht vorgenommen.

3 Eingangsdaten

3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte

Am Standort Zichtow (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 1 - 5). Am Standort befinden sich 34 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/m ³] | Quelle |
|  | 1 - 5 | DIBt 2012 | WZ S | Individuelle Auslegungswerte* | 20 | 7.3 | 2.0 | 37.0 | 0.2 | 8 | 1.225 | /3.3, 3.4/ |
|  | 28 - 31, 33 | DIBt 2004 | ---* | A nach IEC Ed. 2 /2.1/ | ---* | ---* | ---* | ---* | ---* | ---* | ---* | --- |

*: Für die WEA 1 - 5 liegen Turbulenzauslegungswerte vor, die jedoch aufgrund einer bestehenden Geheimhaltungsvereinbarung zurzeit noch nicht dargestellt werden dürfen.

---*: 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 Zichtow 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 Zichtow vorausgesetzt.

3.3 Extremwind am Standort

Durch die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH wurde in /3.5/ der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf einer Höhe von 167m mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren standortspezifisch ermittelt. Da die Windgeschwindigkeit mit steigender Höhe tendenziell zunimmt, kann auf Basis der Angaben gemäß /3.5/ davon ausgegangen werden, dass der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe der WEA 1 - 5 mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren den in Tabelle 3.3.1 angegebenen Wert nicht übersteigt. Für die WEA 1 - 5 wurde der standortspezifische 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren daher ohne Umrechnung übernommen. Eine Haftung für das Gutachten /3.5/ wird seitens des Gutachters nicht übernommen.

Der in /3.5/ ermittelte Wert ist in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.

Tabelle 3.3.1: 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf 167m Höhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren /3.5/.

| WEA | | v_{50} [m/s] |
|---|----------|----------------|
| | Lfd. Nr. | |
|  | 1 - 5 | 28.76 |

3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort

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

Die Bewertung des Orografieinflusses erfolgt im vorliegenden Fall auf Basis von Höhendaten nach /1.9/.



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 Zichtow wurde am 08.11.2018 besichtigt /3.2/.

Der Standort lässt sich in die Geländekategorie II - 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.



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.
- Aufgrund einer zurzeit bestehenden Geheimhaltungsvereinbarung werden die für WEA 1 - 5 vorliegenden Turbulenzauslegungswerte 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.3.1.1 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).

Table 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 | Z1 | + | + | + | + | + | + | + | --- | |
| | 2 | Z2 | + | + | + | + | + | + | + | --- | |
| | 3 | Z3 | + | + | + | + | + | + | + | --- | |
| | 4 | Z4 | + | + | + | + | + | + | + | --- | |
| | 5 | Z6(BW) | + | + | + | + | + | + | + | --- | |
| | 28 | G2 | + | --- | | | | | | + | --- |
| | 29 | G3 | + | --- | | | | | | + | --- |
| | 30 | G4 | + | --- | | | | | | + | --- |
| | 31 | G5 | + | --- | | | | | | + | --- |
| | 33 | S 3 | + | --- | | | | | | + | --- |

5.2.1 Erläuterungen und Hinweise

- Die Kennlinien der WEA 1 - 5 beziehen sich laut Angaben des Herstellers auf ein frühes Stadium der technischen Entwicklung und können daher noch Änderungen unterliegen.

5.2.2 Einschränkungen

- Die in /3.5/ getroffene Aussage zum 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren unterliegt der folgenden Einschränkung: Eine Haftung für das Gutachten /3.5/ wird seitens der Gutachter der anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH nicht übernommen. Entsprechend wird ebenfalls keine Haftung für die hier getroffene Aussage übernommen.

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.

Da der Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen für alle zu betrachtenden WEA positiv ausfällt (siehe Tabelle 5.2.1), ist ein Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten am Standort Zichtow nicht erforderlich.



6 Zusammenfassung

Am Standort Zichtow (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich 34 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 - 5 | --- | Kapitel 5.2.2 |
| 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. | 28 - 31, 33 | --- | --- |



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/ ECN Solar & Wind Energy; Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II; 1998; Petten, Netherlands.
- /1.5/ 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.
- /1.6/ 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.
- /1.7/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.8/ European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2012, Version 18.5.1; September 2016; Copenhagen, Denmark.
- /1.9/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara; Hole-filled seamless SRTM data V3; International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 2006; Washington, USA.
- /1.10/ 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 September 2018.
- /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/ Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG; windPRO Ergebnisausdruck, PARK - Analyse der Windverhältnisse, Projekt 2019-03-22-Zichtow_Visu; 25.03.2019; Nietwerder, Deutschland.
- /3.2/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Zichtow; Referenz-Nr.: F2E-2018-TGO-042-P1; November 2018; Hamburg, Deutschland.
- /3.3/ Vestas Wind Systems A/S; Performance Specification EnVentus 5 MW V162-5.6 MW 50/60 Hz; Document no.: 0081-5098 V01; 2019-01-24; Arhus N, Denmark.
- /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/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Zichtow; Standort: Zichtow, Brandenburg; Berichts-Nr.: 18-160-7018449-Rev.00-EX-AW; 09. November 2018; Reppenstedt, Deutschland.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

| | |
|----------------------------|--|
| Benutzername | Philipp Kluth, F2E |
| Kunde | Windenergie Wenger-Rosenau GmbH & Co. KG |
| Projektname | Zichtow |
| Variante | — |
| Referenznummer | F2E-2019-TGT-039 |
| Revision | 1 |
| Software | Wake2e 3.9.9.5 WEA-Bibliothek Version 1.6.278 |
| 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 | 08.11.2018 |
| Durchgeführt von | Jörg Schaller, F2E |
| Ermittelte Geländekategorie | II - III |
| Orografisch relevante Struktur | Nein |

A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten
Datensatz European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2012, Version 18.5.1; September 2016; 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 | | Turbulenzintensität | | Datensatz-Nr. | |
|---|-----|-------------|-------------------------------------|------------------------|----------|-------------------------|-------------|---------|---------------------|-----------|---------------|-----------|
| | Nr. | Bezeichnung | WEA-Typ | P _N [MW] | D [m] | z _{hub} [m] | Ost | Nord | Umgebung | Auslegung | Wind | Turbulenz |
|  | 1 | Z1 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 5.6 | 162 | 148 | 33309138 | 5867170 | Repräsentativ | 29 | 1 | — |
|  | 2 | Z2 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 5.6 | 162 | 148 | 33309565 | 5867410 | Repräsentativ | 29 | 1 | — |
|  | 3 | Z3 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 5.6 | 162 | 148 | 33309826 | 5867905 | Repräsentativ | 29 | 1 | — |
|  | 4 | Z4 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 5.6 | 162 | 148 | 33309615 | 5868235 | Repräsentativ | 29 | 1 | — |
|  | 5 | Z6(BW) | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 5.6 | 162 | 148 | 33309339 | 5867829 | Repräsentativ | 29 | 1 | — |
|  | 6 | P1 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33310135 | 5870671 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 7 | P2 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33310436 | 5870555 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 8 | P3 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33310898 | 5870755 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 9 | P4 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33311045 | 5870264 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 10 | P5 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33311587 | 5870706 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 11 | WKA 21 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33309714 | 5870159 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 12 | WKA 22 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33310123 | 5869761 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 13 | WKA 23 | Vestas V90 2.0MW Gridstreamer mode0 | 2 | 90 | 105 | 33309957 | 5869991 | Charakteristisch | 2 | 3 | — |
|  | 14 | REp01 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33309602 | 5870416 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 15 | REp02 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33309903 | 5870472 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

| WEA | | | | | | | Koordinaten | | Turbulenzintensität | | Datensatz-Nr. | |
|---|-----|-------------|-----------------------|------------------------|----------|-------------------------|-------------|---------|---------------------|-----------|---------------|-----------|
| | Nr. | Bezeichnung | WEA-Typ | P _N [MW] | D [m] | z _{hub} [m] | Ost | Nord | Umgebung | Auslegung | Wind | Turbulenz |
|  | 16 | REp03 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310061 | 5870266 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 17 | REp04 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310378 | 5870200 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 18 | REp05 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310711 | 5870113 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 19 | REp06 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33311067 | 5869947 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 20 | REp07 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33311276 | 5870585 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 21 | REp08 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310367 | 5869848 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 22 | REp09 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310836 | 5869712 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 23 | REp10 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310574 | 5869473 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 24 | REp11 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310979 | 5869407 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 25 | REp12 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310569 | 5869247 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 26 | REp13 | Senvion MD70 | 1.5 | 70 | 65 | 33310960 | 5869190 | Charakteristisch | 1 | 4 | — |
|  | 27 | G1 | ENERCON E-82 E2 2.0MW | 2 | 82 | 108.3 | 33310750 | 5868973 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 28 | G2 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33310326 | 5868693 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 29 | G3 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33310809 | 5868658 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 30 | G4 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33310529 | 5868486 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 31 | G5 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33310397 | 5868957 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 32 | G6 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33311067 | 5868936 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 33 | S3 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33310220 | 5869310 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 34 | S1 | ENERCON E-82 E2 2.0MW | 2 | 82 | 108.3 | 33310704 | 5870456 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 35 | V1 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33309422 | 5871314 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 36 | V2 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33309485 | 5871037 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 37 | V3 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33309859 | 5870966 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |
|  | 38 | V4 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33309462 | 5870733 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

| WEA | | | | | | Koordinaten | | Turbulenzintensität | | Datensatz-Nr. | |
|-----|-------------|-----------------------|------------------------|----------|-------------------------|-------------|---------|---------------------|-----------|---------------|-----------|
| Nr. | Bezeichnung | WEA-Typ | P _N [MW] | D [m] | z _{hub} [m] | Ost | Nord | Umgebung | Auslegung | Wind | Turbulenz |
| 39 | V5 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 2.3 | 82 | 108.3 | 33309758 | 5870677 | Charakteristisch | 2 | 2 | — |

A.2.3 Auslegungswerte

Tabelle A.2.3.1: Auslegungswerte der Turbulenzintensität

| 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 |

A.2.4 Winddaten

Quelle Externe Datei
 Dateiname zichtow_rev1_wind_data.csv

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

| | N | NNO | ONO | O | OSO | SSO | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | Mittelwerte über alle Richtungen | | Koordinaten des Referenzpunkts | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|--------------------------------|----------|
| A [m/s] | 5.66 | 5.46 | 5.96 | 7.42 | 6.85 | 6.11 | 6.02 | 7.14 | 8.89 | 9.62 | 8.27 | 7.05 | A [m/s] | 7.49 | Höhe über Grund [m] | 148 |
| k [-] | 2.033 | 2.131 | 2.291 | 2.529 | 2.494 | 2.244 | 2.154 | 2.264 | 2.416 | 2.334 | 2.256 | 2.236 | k [-] | 2.092 | Ost | 33310130 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.045 | 0.048 | 0.058 | 0.087 | 0.092 | 0.071 | 0.065 | 0.099 | 0.135 | 0.151 | 0.094 | 0.055 | v _{ave} [m/s] | 6.64 | Nord | 5867934 |

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

| | N | NNO | ONO | O | OSO | SSO | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | Mittelwerte über alle Richtungen | | Koordinaten des Referenzpunkts | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|--------------------------------|----------|
| A [m/s] | 5.15 | 4.99 | 5.4 | 6.73 | 6.2 | 5.52 | 5.51 | 6.54 | 8.08 | 8.85 | 7.51 | 6.39 | A [m/s] | 6.83 | Höhe über Grund [m] | 108.4 |
| k [-] | 2.076 | 2.174 | 2.338 | 2.58 | 2.545 | 2.295 | 2.197 | 2.307 | 2.463 | 2.373 | 2.299 | 2.279 | k [-] | 2.115 | Ost | 33310130 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.046 | 0.048 | 0.058 | 0.087 | 0.092 | 0.071 | 0.065 | 0.099 | 0.135 | 0.151 | 0.094 | 0.055 | v _{ave} [m/s] | 6.05 | Nord | 5867934 |

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

| | N | NNO | ONO | O | OSO | SSO | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | Mittelwerte über alle Richtungen | | Koordinaten des Referenzpunkts | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|--------------------------------|----------|
| A [m/s] | 5.1 | 4.94 | 5.34 | 6.66 | 6.13 | 5.46 | 5.46 | 6.48 | 8 | 8.77 | 7.44 | 6.32 | A [m/s] | 6.76 | Höhe über Grund [m] | 105 |
| k [-] | 2.08 | 2.182 | 2.342 | 2.588 | 2.553 | 2.299 | 2.205 | 2.311 | 2.467 | 2.377 | 2.303 | 2.283 | k [-] | 2.119 | Ost | 33310130 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.046 | 0.048 | 0.058 | 0.087 | 0.092 | 0.07 | 0.065 | 0.099 | 0.135 | 0.151 | 0.093 | 0.055 | v _{ave} [m/s] | 5.99 | Nord | 5867934 |

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

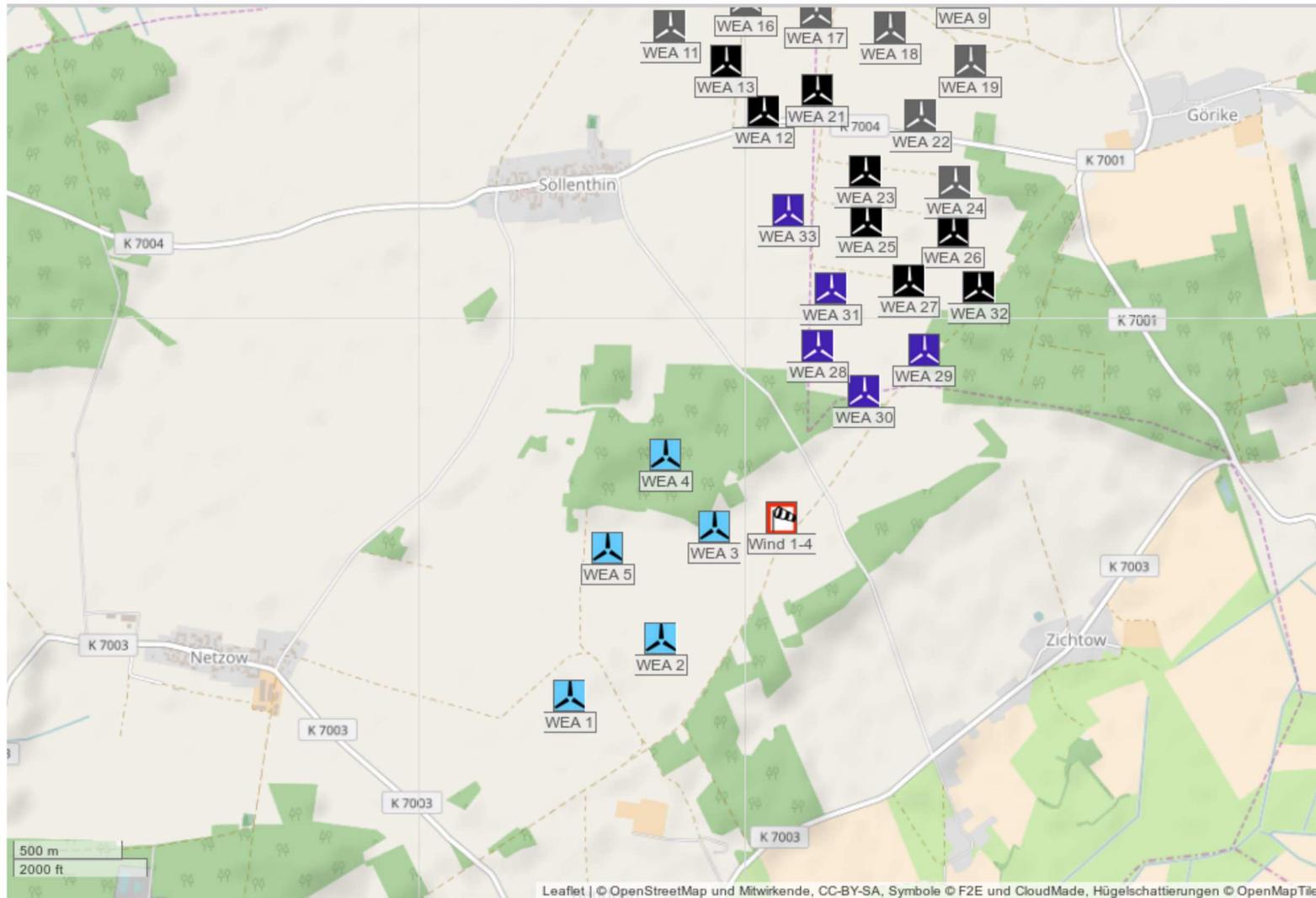
| | N | NNO | ONO | O | OSO | SSO | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | Mittelwerte über alle Richtungen | | Koordinaten des Referenzpunkts | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----------------------------------|-------|--------------------------------|----------|
| A [m/s] | 4.52 | 4.41 | 4.61 | 5.87 | 5.4 | 4.81 | 4.84 | 5.83 | 7.24 | 7.86 | 6.61 | 5.53 | A [m/s] | 6.01 | Höhe über Grund [m] | 65 |
| k [-] | 1.967 | 2.053 | 2.209 | 2.447 | 2.416 | 2.178 | 2.072 | 2.174 | 2.318 | 2.24 | 2.162 | 2.158 | k [-] | 1.998 | Ost | 33310130 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.046 | 0.048 | 0.059 | 0.087 | 0.091 | 0.07 | 0.065 | 0.1 | 0.136 | 0.15 | 0.093 | 0.055 | v _{ave} [m/s] | 5.33 | Nord | 5867934 |

A.2.5 Betriebsbeschränkungen (BBS)

A.2.5.1 Situation nach dem Zubau

Für diese Berechnungsvariante wurden keine Einschränkungen definiert.

A.2.6 Karte des Windparks



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 |
|  | 1 | Z1 | 2 | 3.02 | 5 | 4.25 | 3 | 6.21 | 4 | 7.2 | 30 | 23.35 |
|  | 2 | Z2 | 5 | 2.94 | 1 | 3.02 | 3 | 3.45 | 4 | 5.1 | 30 | 17.62 |
|  | 3 | Z3 | 4 | 2.42 | 5 | 3.04 | 2 | 3.45 | 1 | 6.21 | 30 | 11.12 |
|  | 4 | Z4 | 3 | 2.42 | 5 | 3.03 | 2 | 5.1 | 1 | 7.2 | 28 | 10.31 |
|  | 5 | Z6(BW) | 2 | 2.94 | 4 | 3.03 | 3 | 3.04 | 1 | 4.25 | 28 | 16 |
|  | 28 | G2 | 31 | 3.33 | 30 | 3.54 | 4 | 5.22 | 3 | 5.76 | 29 | 5.91 |
|  | 29 | G3 | 27 | 3.91 | 30 | 4.01 | 32 | 4.63 | 28 | 5.91 | 31 | 6.21 |
|  | 30 | G4 | 28 | 3.54 | 29 | 4.01 | 3 | 5.63 | 4 | 5.85 | 31 | 5.97 |
|  | 31 | G5 | 28 | 3.33 | 27 | 4.31 | 33 | 4.82 | 25 | 4.82 | 30 | 5.97 |
|  | 33 | S3 | 31 | 4.82 | 25 | 5.07 | 12 | 5.13 | 23 | 5.57 | 4 | 7.61 |

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 | Z1 | 10 | — | 30.5 | 26.5 | 24.7 | 22.5 | 20.8 | 19.5 | 18.4 | 16.2 | 14.5 | 13.7 | 13.2 | 12.8 | 12.5 | 12.2 | 12.0 | 11.7 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.2 | 11.1 | 11.1 | — | — | — | — | — |
|  | 2 | Z2 | 10 | — | 31.9 | 28.5 | 27.1 | 25.3 | 23.8 | 22.9 | 22.4 | 20.1 | 17.7 | 16.1 | 15.0 | 14.2 | 13.5 | 13.0 | 12.5 | 12.1 | 11.7 | 11.4 | 11.2 | 11.1 | 10.9 | 10.9 | — | — | — | — | — |
|  | 3 | Z3 | 10 | — | 32.2 | 29.0 | 27.8 | 25.9 | 24.4 | 23.4 | 22.8 | 20.2 | 17.6 | 15.9 | 14.8 | 14.0 | 13.4 | 12.9 | 12.5 | 12.2 | 11.9 | 11.6 | 11.5 | 11.4 | 11.3 | 11.2 | — | — | — | — | — |
|  | 4 | Z4 | 10 | — | 33.1 | 29.9 | 28.6 | 26.4 | 24.5 | 23.2 | 22.2 | 19.3 | 16.5 | 14.7 | 13.6 | 12.9 | 12.3 | 12.0 | 11.7 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | — | — | — | — | — |
|  | 5 | Z6(BW) | 10 | — | 31.9 | 28.2 | 26.6 | 24.5 | 22.7 | 21.4 | 20.5 | 18.0 | 15.6 | 14.1 | 13.2 | 12.6 | 12.1 | 11.8 | 11.5 | 11.3 | 11.1 | 10.9 | 10.9 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | — | — | — | — | — |
|  | 28 | G2 | 10 | — | 35.0 | 29.9 | 27.0 | 24.8 | 23.1 | 21.7 | 20.4 | 19.2 | 18.1 | 14.9 | 13.2 | 12.5 | 12.1 | 11.7 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |
|  | 29 | G3 | 10 | — | 33.8 | 28.9 | 26.1 | 24.2 | 22.9 | 21.9 | 21.2 | 20.7 | 20.2 | 17.3 | 15.3 | 14.2 | 13.4 | 12.8 | 12.3 | 11.9 | 11.6 | 11.3 | 11.2 | 11.1 | 11.0 | 11.0 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 |
|  | 30 | G4 | 10 | — | 34.5 | 29.5 | 26.6 | 24.6 | 23.1 | 22.0 | 21.1 | 20.4 | 19.9 | 16.7 | 14.6 | 13.5 | 12.8 | 12.3 | 11.9 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 11.0 | 11.0 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 |
|  | 31 | G5 | 10 | — | 35.3 | 30.3 | 27.2 | 25.0 | 23.3 | 21.9 | 20.6 | 19.5 | 18.4 | 14.9 | 13.1 | 12.3 | 11.8 | 11.5 | 11.2 | 11.0 | 10.8 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 |
|  | 33 | S3 | 10 | — | 29.2 | 25.7 | 22.7 | 20.6 | 19.0 | 17.6 | 16.4 | 15.4 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 12.0 | 11.7 | 11.4 | 11.2 | 11.0 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 |

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 | Z1 | 10 | 35.6 | 32.0 | 30.5 | 28.3 | 26.5 | 25.2 | 24.5 | 21.7 | 18.9 | 17.0 | 15.7 | 14.7 | 14.0 | 13.4 | 12.9 | 12.7 | 12.5 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | — | — | — | — | — |
|  | 2 | Z2 | 10 | 37.3 | 33.5 | 31.9 | 29.6 | 27.7 | 26.4 | 25.6 | 22.7 | 19.8 | 17.8 | 16.5 | 15.5 | 14.8 | 14.1 | 13.6 | 13.2 | 12.8 | 12.4 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 11.9 | — | — | — | — | — | |
|  | 3 | Z3 | 10 | 37.3 | 34.4 | 33.4 | 31.1 | 29.2 | 27.9 | 27.2 | 23.8 | 20.3 | 17.8 | 16.2 | 15.1 | 14.2 | 13.4 | 12.8 | 12.3 | 11.9 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | — | — | — | — | — | |
|  | 4 | Z4 | 10 | 37.4 | 34.5 | 33.5 | 31.2 | 29.3 | 28.0 | 27.2 | 23.9 | 20.3 | 17.9 | 16.3 | 15.1 | 14.2 | 13.5 | 13.0 | 12.6 | 12.2 | 11.8 | 11.6 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | — | — | — | — | — | |

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 |
|  | 5 | Z6(BW) | 10 | 35.0 | 31.5 | 30.1 | 27.9 | 26.1 | 24.9 | 24.1 | 21.4 | 18.6 | 16.7 | 15.4 | 14.5 | 13.7 | 13.1 | 12.7 | 12.3 | 11.9 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | — | — | — | — | — |
|  | 28 | G2 | 10 | 41.0 | 35.4 | 32.2 | 29.8 | 28.1 | 26.8 | 25.7 | 24.9 | 24.2 | 20.0 | 17.0 | 15.4 | 14.2 | 13.3 | 12.7 | 12.4 | 12.1 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | 11.5 | 11.5 |
|  | 29 | G3 | 10 | 40.2 | 34.4 | 31.1 | 28.7 | 27.0 | 25.6 | 24.5 | 23.7 | 23.1 | 19.5 | 16.9 | 15.6 | 14.6 | 13.8 | 13.3 | 12.8 | 12.4 | 12.0 | 11.9 | 11.8 | 11.7 | 11.6 | 11.6 | 11.5 | 11.5 | 11.4 | 11.4 |
|  | 30 | G4 | 10 | 40.7 | 35.0 | 31.8 | 29.4 | 27.7 | 26.4 | 25.3 | 24.5 | 23.8 | 19.8 | 17.2 | 15.8 | 14.8 | 14.1 | 13.5 | 13.0 | 12.6 | 12.2 | 12.1 | 12.0 | 11.9 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.6 | 11.6 |
|  | 31 | G5 | 10 | 42.4 | 36.6 | 33.3 | 30.8 | 29.1 | 27.7 | 26.5 | 25.7 | 25.0 | 20.7 | 17.6 | 16.0 | 14.8 | 13.9 | 13.2 | 12.6 | 12.2 | 11.8 | 11.7 | 11.6 | 11.6 | 11.5 | 11.5 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 |
|  | 33 | S3 | 10 | 33.7 | 29.7 | 26.1 | 23.7 | 22.2 | 21.1 | 20.2 | 19.5 | 18.9 | 16.3 | 15.5 | 14.8 | 14.1 | 13.5 | 13.0 | 12.5 | 12.1 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.2 |

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 | I _{eff} | m [-] | Komplex | α _n [-] | φ [°] | ρ [kg/m ³] | WZ | v ₅₀ GK2 [m/s] | v ₅₀ GK1 [m/s] | A [m/s] | A _{kor.} [m/s] | k [-] | v _{ave} [m/s] | v _{ave} ρ _{kor.} [m/s] |
|  | 1 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 148 | 162 | Nein | 3.023 | 2 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.4 | 1.234 | 2 / II | 38.5 | | 7.49 | 7.52 | 2.092 | 6.64 | 6.66 |
|  | 2 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 148 | 162 | Nein | 2.938 | 5 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.5 | 1.233 | 2 / II | 38.5 | | 7.49 | 7.52 | 2.092 | 6.64 | 6.66 |
|  | 3 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 148 | 162 | Nein | 2.417 | 4 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.6 | 1.234 | 2 / II | 38.5 | | 7.49 | 7.52 | 2.092 | 6.64 | 6.66 |
|  | 4 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 148 | 162 | Nein | 2.417 | 3 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.5 | 1.233 | 2 / II | 38.5 | | 7.49 | 7.52 | 2.092 | 6.64 | 6.66 |
|  | 5 | Vestas V162-5.6 5.6MW Mode 0 | 148 | 162 | Nein | 2.938 | 2 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.5 | 1.234 | 2 / II | 38.5 | | 7.49 | 7.52 | 2.092 | 6.64 | 6.66 |
|  | 28 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 108.3 | 82 | Nein | 3.333 | 31 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.6 | 1.239 | 2 / II | 36.6 | | 6.83 | 6.87 | 2.115 | 6.05 | 6.08 |
|  | 29 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 108.3 | 82 | Nein | 3.908 | 27 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 1 | 1.238 | 2 / II | 36.6 | | 6.83 | 6.87 | 2.115 | 6.05 | 6.08 |
|  | 30 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 108.3 | 82 | Nein | 3.535 | 28 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.9 | 1.238 | 2 / II | 36.6 | | 6.83 | 6.87 | 2.115 | 6.05 | 6.08 |
|  | 31 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 108.3 | 82 | Nein | 3.333 | 28 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.4 | 1.239 | 2 / II | 36.6 | | 6.83 | 6.87 | 2.115 | 6.05 | 6.08 |
|  | 33 | ENERCON E-82 E2 2.3MW | 108.3 | 82 | Nein | 4.815 | 31 | Nein | ✓ | 10 | Nein | 0.13 | 0.2 | 1.239 | 2 / II | 36.6 | | 6.83 | 6.87 | 2.115 | 6.05 | 6.08 |

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. |

A.5 Abkürzungen und Formelzeichen

| | | | | |
|---------|---|-------------------------|---|----------------------|
| WEA | Windenergieanlage | D | Rotordurchmesser | [m] |
| DIBt | Deutsches Institut für Bautechnik | z_{hub} | Nabenhöhe der WEA | [m] |
| IEC | Internationale Elektrotechnische Kommission | P_N | Nennleistung der WEA | [MW] |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz | c_T | Schubbeiwert des Rotors | [-] |
| NTM | Normales Windturbulenzmodell | I_{eff} | Effektive Turbulenzintensität | [-] |
| DLC | Auslegungslastfall | A | Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung | [m/s] |
| PD | Potsdam-Datum | k | Formparameter der Weibull-Verteilung | [-] |
| ETRS89 | Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 | h | Höhe über Grund | [m] |
| UTM | Universale Transversale Mercator Projektion | m | Wöhlerlinienkoeffizient | [-] |
| WGS84 | World Geodetic System 1984 | v | Windgeschwindigkeit | [m/s] |
| WZ | Windzone | v_{ave} | Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe | [m/s] |
| BBS | Betriebsbeschränkung | v_{ref} | Referenz-Windgeschwindigkeit (Auslegungswert für v_{50}) | [m/s] |
| LR | Lastrechnung | v_{50} | 10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren | [m/s] |
| GK | Geländekategorie | v_r | Nennwindgeschwindigkeit der WEA | [m/s] |
| üNN | über Normal-Null | v_{in} | Einschaltwingsgeschwindigkeit der WEA | [m/s] |
| | | v_{out} | Abschaltwingsgeschwindigkeit der WEA | [m/s] |
| | | 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} | Startwindgeschwindigkeit der BBS | [m/s] |
| | | ρ | Mittlere Luftdichte | [kg/m ³] |
| | | τ_{design} | Entwurfslebensdauer in Jahren | [a] |
| | | | Altgrad (Vollkreis = 360°) | [°] |