



Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Hasenberg, Variante B

Referenz-Nummer:

F2E-2020-TGK-038, Rev. 0 - ungekürzte 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:

M.Sc. Susann Heise, Sachverständige,

Hamburg, 03.06.2021

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 03.06.2021

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.....	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	Erläuterungen und Hinweise.....	25
5.2.2	Einschränkungen.....	25
5.3	Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten.....	26
5.3.1	Erläuterungen und Hinweise.....	27
5.3.2	Einschränkungen.....	28
6	Zusammenfassung.....	29
7	Literaturangaben.....	30
	Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Hasenberg, Variante B.....	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.



2 Grundlagen

WEA sind Umweltbedingungen und elektrischen Bedingungen ausgesetzt, die Belastung, Haltbarkeit und den Betrieb beeinflussen können. Die Umweltbedingungen werden in Wind- und andere Umweltbedingungen unterteilt. Für die Integrität der Konstruktion sind die Windbedingungen die primär zu berücksichtigenden Einflussfaktoren.

Der Nachweis der Standsicherheit von Turm und Gründung einer WEA wird in Form einer Typenprüfung nach der jeweils gültigen DIBt-Richtlinie /2.6, 2.7, 2.8/ geführt. Hierzu definieren die Richtlinien Windzonen in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Turbulenzparametern, welche die meisten Anwendungsfälle erfassen sollen, jedoch keinen spezifischen Standort einer WEA exakt abbilden. Auf Basis der Windbedingungen der Windzone werden anschließend die Lasten der WEA durch den Hersteller ermittelt.

Das vom Hersteller verwendete Modell zur Berechnung der Lasten und die Berechnungsergebnisse werden durch unabhängige Berechnungen im Rahmen der Typenprüfung durch eine akkreditierte Stelle geprüft und bestätigt.

Im konkreten Einzelfall der Errichtung einer WEA ist die Anwendbarkeit der Typenprüfung nachzuweisen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen. Zum einen durch einen Vergleich der standortspezifischen Windbedingungen mit den Windbedingungen der Typenprüfung oder zum anderen durch einen Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lasten der Typenprüfung. Im zweiten Fall dienen die standortspezifischen Windbedingungen als Eingangswerte für die Ermittlung der standortspezifischen Lasten. Das bedeutet insbesondere, dass kein neuer Standsicherheitsnachweis für Turm und Gründung geführt wird, sondern dass jeweils die Randbedingungen der Typenprüfung, also des bestehenden Standsicherheitsnachweises, überprüft werden.

Abbildung 2.1.1 gibt einen Überblick über das Prüfverfahren.

2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen

Gemäß /2.2, 2.3/ sind für neu geplante WEA folgende Windbedingungen auf Nabenhöhe nachzuweisen:

- 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{50} ,
- Windgeschwindigkeitsverteilung im Bereich von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$,
- Turbulenzintensität für Windgeschwindigkeiten von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$,

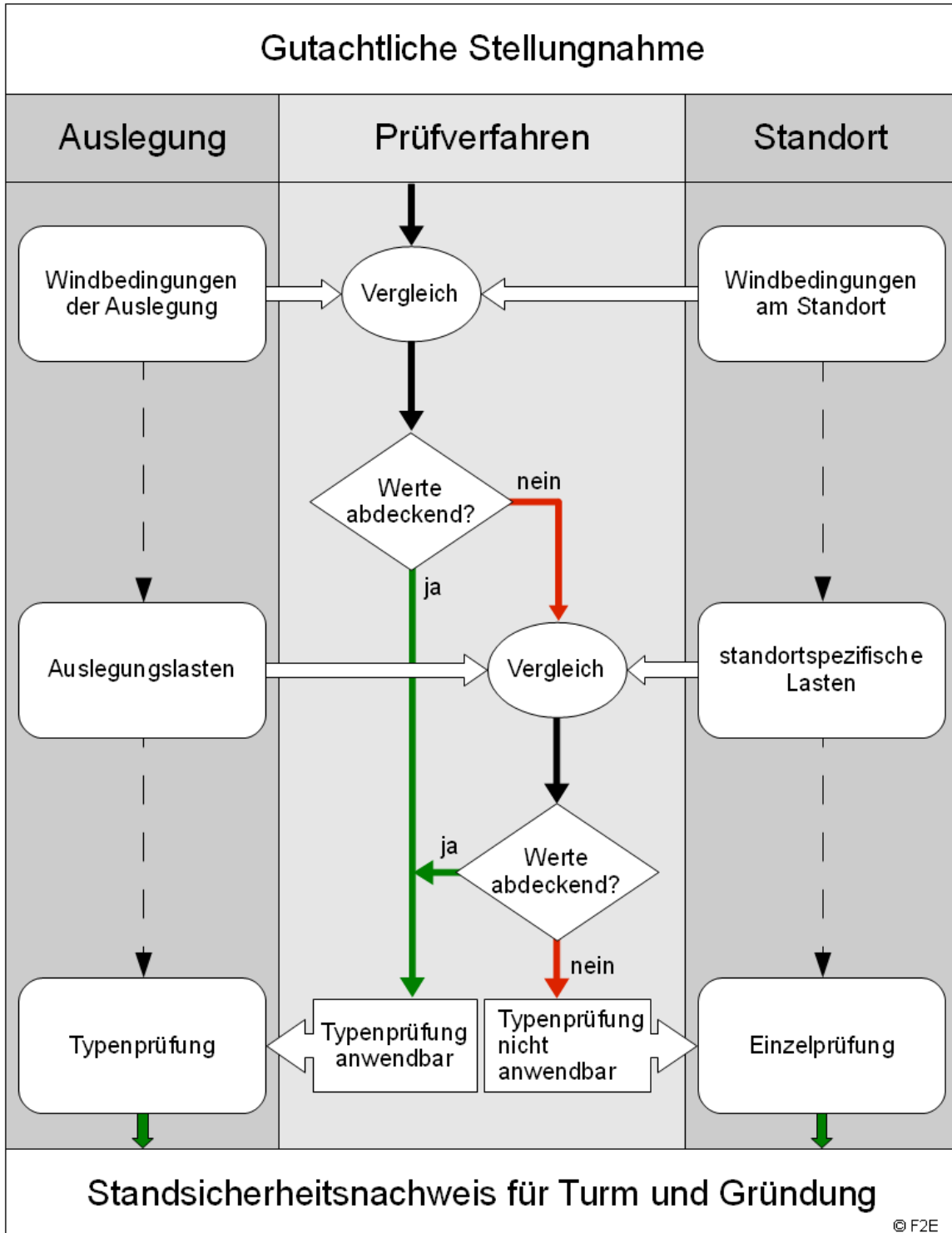


Abbildung 2.1.1: Schematische Darstellung des Prüfverfahrens.



- Extremwerte der Turbulenzintensität,
- Höhenexponent α des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils,
- mittlere Neigung der Anströmung,
- mittlere Luftdichte ρ für Windgeschwindigkeiten $\geq v_r$.

In /2.4/ wurde der Windgeschwindigkeitsbereich, für den die Windgeschwindigkeitsverteilung und die Turbulenzintensität nachgewiesen werden müssen, von $0.2v_{\text{ref}} - 0.4v_{\text{ref}}$ auf $v_{\text{ave}} - 2v_{\text{ave}}$ geändert. Dieser Windgeschwindigkeitsbereich kann daher alternativ zugrunde gelegt werden.

Überschreitungen der Extremwerte der Turbulenzintensität treten typischerweise stets mit Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität auf. Für einen Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen werden die Extremwerte der Turbulenzintensität daher nicht explizit ausgewiesen. Diese sind gegebenenfalls dann im Rahmen eines Nachweises durch einen Vergleich der Lasten (siehe Kapitel 2.2) zu berücksichtigen und werden daher in den Ergebnissen im Anhang aufgeführt.

Zusätzlich werden in /2.3/ Nachweise für Extremwerte des Windgradienten gefordert. Der Nachweis für Extremwerte des Windgradienten ist mit /2.4/ wieder entfallen und wird daher hier nicht berücksichtigt.

Werden abweichend von den in /2.2 - 2.4/ definierten Turbulenzkategorien individuelle Auslegungswerte der Turbulenzintensität definiert, kann es notwendig sein, den zu bewertenden Windgeschwindigkeitsbereich auf den gesamten Betriebsbereich der WEA auszuweiten.

Den Ermittlungen der Standortbedingungen ist nach /2.8/ dabei eine Standortbesichtigung zugrunde zu legen.

Alternativ zum oben genannten Nachweis nach /2.2, 2.3/ kann nach /2.8/ ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, wenn der jeweilige Standort der geplanten WEA nicht orografisch komplex gemäß der Definition in /2.2, 2.3/ ist. Nach dem vereinfachten Verfahren sind folgende Windbedingungen auf Nabenhöhe nachzuweisen:

- mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe,
- Turbulenzintensität,
- 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{50} (nur wenn die Windzone der Typenprüfung nicht die Windzone des jeweiligen Standortes der WEA abdeckt).

Nach /2.8/ muss dabei die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe



5% kleiner sein als der Auslegungswert oder die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe muss kleiner gleich dem Auslegungswert und der Formparameter k der Weibull-Verteilung gleichzeitig größer gleich 2 sein.

Das vereinfachte Verfahren setzt an dieser Stelle voraus, dass der Auslegungswert des Formparameters der Weibullverteilung einen Wert von 2.0 aufweist. Bei abweichenden Auslegungswerten muss die Bewertung der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit und des Formparameter k der Weibull-Verteilung über einen Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit mit der Verteilung der Auslegung entsprechend /2.2, 2.3/ erfolgen.

Im Rahmen der Überarbeitung der internationalen Richtlinie /2.2, 2.3/ wurde ein Verfahren entwickelt, das die Bewertung der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit auf Basis der Parameter der entsprechenden Weibull-Verteilung ermöglicht /2.4/. Dieses Verfahren kann angewendet werden, wenn sich die standortspezifische Kurve der Häufigkeitsverteilung und die der Auslegung schneiden. Gemäß /2.4/ sind verschiedene Kombinationen des Formparameters k der Weibull-Verteilung und der normierten mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe möglich, die durch den schraffierten Bereich in Abbildung 2.1.2 dargestellt sind.

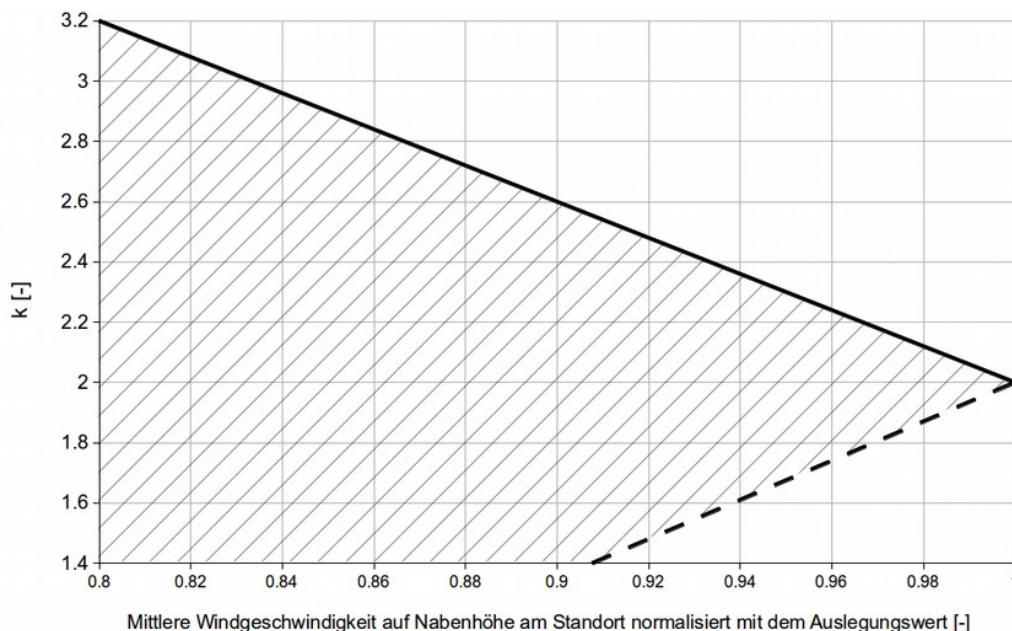


Abbildung 2.1.2: Mögliche Kombinationen von normierter Windgeschwindigkeit und Formparameter k der Weibull-Verteilung (schraffierter Bereich).



Für bestehende WEA, die nach den DIBt-Richtlinien von 1995 bzw. 2004 /2.6, 2.7/ errichtet wurden, darf der Nachweis der Standorteignung weiterhin nach dem in der DIBt-Richtlinie von 2004 /2.7/ genannten Verfahren erfolgen.

Gemäß /2.4/ kann bei Luftdichten, die die Auslegungswerte überschreiten, der Nachweis alternativ erbracht werden, indem gezeigt wird, dass folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\rho_{Auslegung} \cdot (V_{ave, Auslegung})^2 \geq \rho_{Standort} \cdot (V_{ave, Standort})^2$$

Die Bedingung entspricht einem Vergleich des standortspezifischen, mittleren Geschwindigkeitsdrucks mit dem Wert der Auslegung.

Der nachzuweisenden Turbulenzintensität kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, da die Turbulenzintensität die einzige Windbedingung ist, über die eine Bewertung des Einflusses der WEA untereinander erfolgt.

Dieser Einfluss ist nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ zu berücksichtigen, wenn der auf den Rotordurchmesser D der jeweils größeren WEA bezogene Abstand zwischen zwei WEA für typische küstennahe Standorte kleiner gleich fünf und für typische Binnenstandorte kleiner gleich acht Rotordurchmesser beträgt /2.8/. Für größere Abstände braucht eine Beeinflussung der WEA untereinander nicht betrachtet zu werden. Im Folgenden wird dabei konservativ immer der größere Einflussbereich von 8D zugrunde gelegt.

Hieraus folgen unmittelbar die benachbarten WEA, für die eine Standorteignung im Rahmen des betrachteten Zubaus der geplanten WEA erneut nachzuweisen ist. Da es einen Einfluss der geplanten WEA auf diese benachbarten WEA nur in Form einer Erhöhung der Turbulenzintensität gibt, ist für benachbarte WEA unabhängig von der anzuwendenden DIBt-Richtlinie auch nur diese Windbedingung erneut zu überprüfen.

Abbildung 2.1.3 gibt einen Überblick über die jeweils nachzuweisenden Windbedingungen.

Liegt eine der oben aufgeführten für den Nachweis der Standorteignung erforderlichen Windbedingungen oberhalb des entsprechenden Auslegungswertes, der bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurde, ist ein Nachweis der Standorteignung der WEA durch einen Vergleich der Windbedingungen nicht möglich.

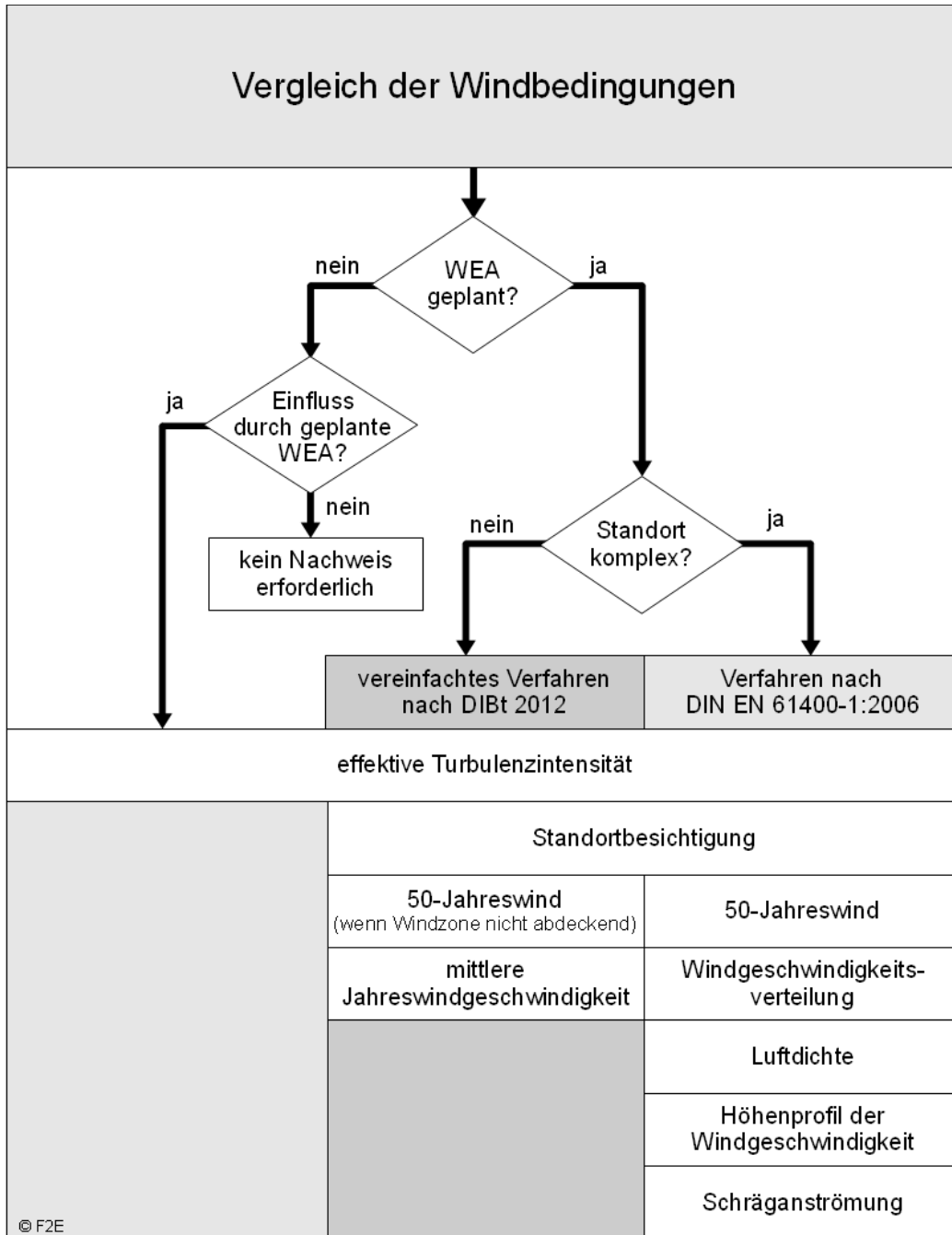


Abbildung 2.1.3: Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen gemäß /2.8/.



2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten

Die entsprechend dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Verfahren ermittelten Windbedingungen können als Eingangsparameter für einen standortspezifischen Nachweis durch einen Vergleich der Lasten verwendet werden.

Im Falle eines Windparks mit entsprechendem Einfluss von benachbarten WEA sind nach /2.2/ sowohl die Betriebs- als auch die Extremlasten nachzuweisen. Für die Betriebslasten sind gemäß /2.2, 2.3/ hierzu der Auslegungslastfall DLC 1.2 unter Berücksichtigung der effektiven Turbulenzintensität und für die Extremlasten die Auslegungslastfälle DLC 1.1 oder 1.3 sowie der DLC 1.5 nachzurechnen.

Alternativ hierzu kann nach /2.8/ ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, wenn der jeweilige Standort der geplanten WEA nicht orografisch komplex gemäß der Definition in /2.2, 2.3/ ist. Nach dem vereinfachten Verfahren sind folgende Lasten zu ermitteln:

- Betriebslasten, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit oder die Turbulenzintensität überschritten sind.
- Extremlasten, wenn der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{ref} überschritten ist.

Eine solche standortspezifische, detaillierte Lastberechnung ist im Vergleich zu dem in Kapitel 2.1 dargestellten Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen sehr aufwändig. Sie kann in der Regel nur vom jeweiligen Hersteller durchgeführt werden.

Diese standortspezifischen Lasten können mit den entsprechenden Auslegungslasten der Typenprüfung verglichen werden. Liegen die standortspezifischen Lasten unterhalb bzw. auf dem Niveau der Auslegungslasten, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurden, ist die Standorteignung der WEA gegeben.

Liegen die standortspezifischen Lasten oberhalb der Auslegungslasten, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurden, ist ein Nachweis der Standorteignung der WEA durch einen Vergleich der Lasten nicht möglich.

In diesem Fall kann die Typenprüfung der WEA nicht angewendet werden und ein Einzelnachweis durch den Hersteller ist erforderlich.



2.3 Auslegungswerte

2.3.1 Turbulenzintensität

Die Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in den DIBt-Richtlinien von 1993/1995 /2.6/ und 2004 /2.7/ noch unabhängig von der Windzone definiert. Der Auslegungswert liegt gemäß DIBt-Richtlinie von 1993/1995 konstant bei 0.2 (20%). Die DIBt-Richtlinie von 2004 /2.7/ schreibt die Turbulenzkategorie A nach /2.1/ vor.

In der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ wird die Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2006 /2.2/ nur noch empfohlen. Grundsätzlich können auch andere Auslegungswerte der Turbulenzintensität zugrunde gelegt werden. In vielen Fällen finden hier die in den internationalen Richtlinien /2.2, 2.3, 2.4/ definierten Turbulenzkategorien Anwendung.

2.3.2 Windgeschwindigkeit

Die Typenprüfung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ erfolgt für eine bestimmte Windzone. Abhängig von der Windzone ist sowohl der Auslegungswert des 10-min-Mittelwertes der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{ref} als auch die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{ave} definiert. Diese Werte sind abhängig von der Nabenhöhe und unterscheiden sich in den einzelnen Windzonen. Der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren v_{ref} kann weiterhin entweder gemäß /2.9/ oder nach einer vereinfachten Formel gemäß /2.8/ bestimmt werden. Die Auslegungswerte sind daher der individuellen Typenprüfung der WEA zu entnehmen und können nicht allgemeingültig angegeben werden. Die Windgeschwindigkeitsverteilung ergibt sich in allen Fällen aus der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe unter Verwendung einer Rayleigh-Verteilung.

Nach den DIBt-Richtlinien /2.6, 2.7, 2.8/ werden die Auslegungswerte der Windgeschwindigkeit in die Windzonen 1 bis 4 bzw. I bis IV unterteilt, wobei die Windzone 4 oder IV die höchsten Auslegungswerte aufweist. In der zitierten Literatur werden hier sowohl arabische als auch römische Zahlen verwendet.

2.3.3 Weitere Windbedingungen

Den nach /2.2, 2.3/ zusätzlich nachzuweisenden Windbedingungen liegen im allgemeinen nach den DIBt-Richtlinien /2.7, 2.8/ folgende Auslegungswerte zugrunde:

- Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils: $\alpha = 0.2$,



- mittlere Neigung der Anströmung: 8° ,
- mittlere Luftdichte: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.

2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden

Kommen im Einzelfall andere Berechnungsmethoden oder Eingangsdaten zur Anwendung als hier aufgeführt wird dies in Kapitel 4 entsprechend dargestellt.

2.4.1 Bestimmung der Komplexität

Große Geländesteigungen und Höhenunterschiede können zu erhöhten Umgebungsturbulenzintensitäten führen und müssen daher in orografisch komplexem Gelände bewertet werden. Der Einfluss der Geländeorografie kann nach /2.2, 2.3/ durch einen Turbulenzstrukturparameter erfasst werden, der als Faktor auf die Turbulenzintensität wirkt. Nach /2.2/ kann ein richtungsunabhängiger Turbulenzstrukturparameter definiert werden, der abhängig vom Anteil des Windes aus orografisch komplexen Richtungssektoren zwischen 1.0 und 1.15 liegt. Da im Folgenden die Umgebungsturbulenzintensitäten richtungsabhängig bestimmt werden, wird abweichend hiervon der Turbulenzstrukturparameter ebenfalls richtungsabhängig bestimmt. Dabei wird jedem Richtungssektor, der als orografisch komplex einzustufen ist, der maximale Turbulenzstrukturparameter von 1.15 zugeordnet.

Die Bewertung der orografischen Komplexität einer Koordinate erfolgt auf Basis von Geländesteigungen und Geländedifferenzen zu einer Ausgleichsebene, die durch die jeweilige zu betrachtende Koordinate gelegt wird. Die Ausgleichsebenen werden mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durch die Höhendaten gelegt. Die Bewertung erfolgt entsprechend /2.2/ auf Nabenhöhe der WEA.

Entsprechend /2.2/ sind für jede WEA 25 Ausgleichsebenen zu ermitteln (siehe Tabelle 2.4.1.1). Wird eines der in Tabelle 2.4.1.1 genannten Kriterien überschritten, so ist der betreffende Sektor als komplex anzusehen. Der jeweilige Standort der WEA ist komplex, wenn mehr als 15% der im Wind enthaltenen Energie aus komplexen Sektoren kommt.

Tabelle 2.4.1.1: Komplexitätskriterien /2.3/.

Ausgleichsebenen		Komplexitätskriterien	
Radius	Azimut Winkel	Maximale Steigung	Maximale Geländedifferenz
$5 \cdot z_{\text{hub}}$	ein Sektor á 360°	10°	$0.3 \cdot z_{\text{hub}}$
$10 \cdot z_{\text{hub}}$	zwölf Sektoren á 30°		$0.6 \cdot z_{\text{hub}}$
$20 \cdot z_{\text{hub}}$	zwölf Sektoren á 30°		$1.2 \cdot z_{\text{hub}}$



2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität

Die Turbulenzintensität ist definiert als das Verhältnis der Standardabweichung der zeitlichen Windgeschwindigkeitsverteilung zu ihrem Mittelwert bezogen auf ein Intervall von 600s. Die Umgebungsturbulenzintensität beschreibt dabei ausschließlich die Turbulenz der freien Strömung ohne den Einfluss von WEA.

Für die spätere Berechnung der effektiven Turbulenzintensität ist nicht die mittlere Umgebungsturbulenzintensität sondern abhängig von der Auslegung der jeweiligen WEA die charakteristische Turbulenzintensität (DIBt 1993/95, DIBt 2004 und IEC 61400-1 Edition 2) bzw. die repräsentative Turbulenzintensität (DIBt 2012, IEC 61400-1 Edition 3) zugrunde zu legen. Die charakteristische Turbulenzintensität ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der einfachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität. Die repräsentative Turbulenzintensität ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität.

Wenn keine ausreichenden Messdaten zur Turbulenzintensität am Standort vorliegen, wird die mittlere langfristige zu erwartende Umgebungsturbulenzintensität rechnerisch ermittelt.

Im Bereich der atmosphärischen Bodengrenzschicht ergibt sich die zu berücksichtigende Umgebungsturbulenzintensität im Wesentlichen aus dem Einfluss der Rauigkeitselemente des Bodens wie Bäumen, Büschen, Bauwerken etc.. Hierzu erfolgt eine Typisierung von Geländeoberflächen hinsichtlich ihres Bewuchses, ihrer Bebauung und Nutzung auf Basis detaillierter Satellitendaten zur Bodenbedeckung /1.7/, wobei Geländeabschnitte bis 25km Entfernung um die jeweilige Koordinate einbezogen werden. Den einzelnen Geländeabschnitten werden anschließend Rauigkeitsklassen gemäß der Empfehlungen des für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Europäischen Windatlanten /1.3/ zugeordnet. Der Einfluss der verschiedenen Geländeabschnitte wird abhängig vom Abstand zur Koordinate in zwölf Richtungssektoren à 30° bewertet, wodurch sich gewichtete Mittel für die Rauigkeiten in den jeweiligen Sektoren ergeben.

Auf Grundlage dieser Rauigkeitsklassifizierung werden die notwendigen Werte von uns auf Basis der Empfehlungen der VDI-Richtlinie VDI 3783 Blatt 12 /1.1/ sowie der DIN EN 1991-1-4 /2.9/ bestimmt.

Die zu berücksichtigenden Umgebungsturbulenzintensitäten sind im Gegensatz zu den Rauigkeiten nicht nur richtungsabhängig, sondern auch abhängig von der Windgeschwindigkeit und Höhe über Grund und werden entsprechend für die



verschiedenen Richtungen und Windgeschwindigkeiten für jede einzelne WEA auf Nabenhöhe ermittelt und in den weiteren Berechnungen berücksichtigt. Der Windgeschwindigkeitsverlauf orientiert sich dabei am Normalen Turbulenzmodell (NTM) der IEC 61400-1 /2.3/.

Einzelstrukturen und orografische Hindernisse, 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, können nicht als Rauigkeitselemente aufgelöst werden. Ihr Einfluss ist gegebenenfalls gesondert zu bewerten (siehe hierzu Kapitel 4.1).

2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten

In /1.4/ ist ein Verfahren beschrieben, um den Einfluss mehrerer, verschieden weit entfernter WEA unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Nachlaufsituationen zu bewerten. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe einer effektiven Turbulenzintensität. Die effektive Turbulenzintensität ist eine Ersatzgröße, welche über die gesamte Lebensdauer der WEA anzusetzen ist. Sie gewichtet die Belastung durch die Umgebungsturbulenzintensität und die zusätzlich durch die Nachlaufsituation induzierte Belastung. Das Verfahren wird sowohl im internationalen Regelwerk als auch in der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ empfohlen. Eine zusätzliche Belastung besteht nach diesem Berechnungsverfahren nicht mehr, wenn der Abstand zur benachbarten WEA mehr als zehn Rotordurchmesser beträgt. Da dieses Berechnungsverfahren im Folgenden Anwendung findet, wird bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität einer WEA daher der Einfluss aller benachbarten WEA berücksichtigt, die bis zu 10D (bezogen auf ihren jeweiligen Rotordurchmesser) entfernt stehen.

Gegenüber der in /1.4/ dargestellten Form des Berechnungsverfahrens verwenden wir das Verfahren mit zwei Modifikationen, welche im Folgenden erläutert werden.

Das in /1.4/ eingesetzte Modell für die zusätzlich im Nachlauf produzierte Turbulenzintensität ist abhängig vom Schubbeiwert c_T der WEA. Hier verwenden wir für die Modellierung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität ein aufwändigeres Modell nach /1.2/, in das neben dem Schubbeiwert c_T der WEA auch die Schnelllaufzahl der WEA und die Umgebungsturbulenzintensität als Parameter eingehen. Ist es möglich eine WEA leistungsreduziert oder in einem veränderten Betriebsmodus zu betreiben, verwenden wir die zur jeweiligen Nennleistung bzw. dem Betriebsmodus gehörenden oder abdeckende Parameter. Sowohl in /1.4/ als auch im internationalen Regelwerk /2.2, 2.3/ ist weiterhin ein Modell zur Bestimmung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität angegeben, das



ganz ohne anlagenspezifische Parameter auskommt. Hier wird ein generalisierter, konservativer Verlauf der Schubbeiwerte zugrunde gelegt /1.4/. Dieses Modell wird von uns verwendet, wenn für eine WEA die anlagenspezifischen Parameter nicht vorliegen oder diese einen Verlauf zeigen, der deutlich von denen der WEA abweicht, die der ursprünglichen Validierung zugrunde lagen.

Die zweite Modifikation betrifft die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation, die nach /2.8/ mit 6% angenommen werden kann. Dieser konstanten Häufigkeit liegt die Annahme eines voll ausgebildeten Nachlaufs (far wake) zugrunde, der sich typischerweise drei bis fünf Rotordurchmesser hinter der WEA einstellt. Um auch für geringe Anlagenabstände konservative Werte zu erhalten, wird die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation von uns davon abweichend auf Basis der realen geometrischen Verhältnisse im Windpark und unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen berechnet. Zusätzliche Sicherheit für den Nahbereich entsteht durch die Annahme, dass der Nachlauf der WEA von Anfang an eine deutlich größere Ausdehnung als der Rotor aufweist.

Die Ausdehnung des Nachlaufs wird auch in vertikaler Richtung berücksichtigt, so dass bei ausreichendem Höhenunterschied kein Einfluss des Nachlaufs auf die deutlich niedrigere bzw. höhere WEA mehr besteht.

Für den materialspezifischen Wöhlerlinien-Koeffizienten m wird der höchste Koeffizient für die schwächste Strukturkomponente der WEA zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich ein abdeckender Wert von $m = 10$ /1.5/ für glasfaserverstärkte Kunststoffe mit einem Faseranteil von 30 bis 55 Volumen-% /2.5/. Für kohlefaserverstärkte Kunststoffe mit einem Faseranteil von 50 bis 60 Volumen-% wird nach /2.5/ ein Wert von $m = 14$ zugrunde gelegt. Herstellerspezifisch können abweichende Wöhlerlinien-Koeffizienten für die schwächste Strukturkomponente der WEA verwendet werden. Wenn nicht anders gekennzeichnet, beziehen sich die hier dargestellten effektiven Turbulenzintensitäten auf einen Wöhlerlinien-Koeffizienten von $m = 10$.

Die DIBt von 2004 und 2012 /2.7, 2.8/ definiert die Auslegungswerte der Turbulenzintensität windgeschwindigkeitsabhängig. Demgegenüber definiert die DIBt von 1995 /2.6/ einen konstanten mittleren Auslegungswert für die Turbulenzintensität von 20%, der allen Windgeschwindigkeiten zugeordnet ist.

Da im Falle eines standortspezifischen Nachweises der Betriebslasten diese auf Basis der ermittelten windgeschwindigkeitsabhängigen effektiven Turbulenzintensitäten berechnet werden müssen, werden für alle betrachteten WEA die windgeschwindigkeitsabhängigen Werte ausgewiesen.

Für die WEA, für die Auslegungswerte der Turbulenzintensität auf Basis der DIBt



von 1995 (1993) /2.6/ zugrunde gelegt werden, sind entsprechende konstante mittlere effektive Turbulenzintensitäten ausgewiesen. Benachbarte WEA mit einer sehr geringen oder sehr hohen Leistung pro Quadratmeter der Rotorfläche oder benachbarte WEA mit einer sehr niedrigen oder sehr hohen Nennwindgeschwindigkeit können dabei qualitativ abweichende Ergebnisse im Vergleich zu einer Bewertung auf Basis von windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten hervorrufen. In diesen Fällen kann der Vergleich mit den windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten zugrunde gelegt werden.

2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten

Die Extremwerte der Turbulenzintensität werden entsprechend den Vorgaben in /2.3/ unter Berücksichtigung der Nachlaufsituationen bestimmt. Als Maß dient der über alle Richtungen gebildete Maximalwert der Turbulenzintensität im Zentrum des Nachlaufs.

2.4.5 Bestimmung der Luftdichte

Zur Berechnung der Luftdichte wird die mittlere Temperatur in 2m Höhe über den Zeitraum von 1981 bis 2010 aus einem 1km-Raster des Deutschen Wetterdienstes zugrunde gelegt /1.9/. Die Luftdichte auf Nabenhöhe der WEA wird anschließend auf Grundlage der Berechnungsvorschrift nach DIN ISO 2533 /2.12/ ermittelt und gemäß /2.4/ für Windgeschwindigkeiten oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit korrigiert.

2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten

Der Höhenexponent unterliegt sehr starken tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen. Die Stabilität der Atmosphäre beeinflusst den Höhenexponenten dabei maßgeblich. Stabilitätsbedingte große Höhenexponenten sind dabei jedoch oft mit niedrigen Turbulenzen korreliert und werden bezüglich der Lasten durch diese oft ausgeglichen. Da entsprechend dem Regelwerk ein einziger über alle Zeiten, Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten gemittelter Wert gefordert wird, erfolgt die Berechnung des mittleren Höhenexponenten daher alleine auf Basis der ermittelten Rauigkeiten. Einflüsse der Stabilität der Atmosphäre werden im Mittel dabei vernachlässigt.

Der Einfluss des Höhenexponenten auf die Lasten der einzelnen Komponenten einer WEA ist sehr unterschiedlich. Sowohl sehr kleine als auch sehr große Werte des Höhenexponenten können zu einer Erhöhung der Lasten führen. Ein einfacher Vergleich mit dem Auslegungswert des Höhenexponenten ist daher nicht möglich. Der Mittelwert des Höhenexponenten sollte bei einem Auslegungswert von 0.2



gemäß /2.4/ in einem Wertebereich von 0.05 bis 0.25 liegen und kann damit um 25% nach oben und um 75% nach unten abweichen. Für andere Auslegungswerte des Höhenexponenten können analoge Gültigkeitsbereiche definiert werden.

Stehen die geplanten WEA in orografisch exponierter Lage auf oder in der Nähe von Hügelkuppen oder sind schroffe Geländekanten oder Steilhänge in direkter Umgebung vorhanden, ist zu überprüfen, ob es zu erhöhten Windgeschwindigkeitsgradienten in vertikaler Richtung im Bereich des Rotors der WEA kommen kann. Falls erforderlich, wird hierauf in Kapitel 4 hingewiesen.

2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung

Gemäß /2.3/ kann angenommen werden, dass die Anströmung parallel zu der in Kapitel 2.4.1 definierten Ausgleichsebene für einen Radius von fünffacher Nabenhöhe läuft. Die Steigung dieser Ausgleichsebene dient daher als Maß für die Schräganströmung. Im Falle ausgeprägter Kuppen- oder Kammlagen, sind eventuell weitere Ausgleichsebenen gemäß Kapitel 2.4.1 heranzuziehen und werden dann zusätzlich in Kapitel 4 ausgewiesen.

2.4.8 Extrapolation der Winddaten

Die zur Verfügung gestellten Winddaten werden nicht in der Horizontalen umgerechnet. Es findet vielmehr in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Zuordnung der WEA-Standorte zu dem oder den Windreferenzpunkten statt. Diese Zuordnung kann dem Anhang entnommen werden.

Besteht ein signifikanter Höhenunterschied zwischen Bezugshöhe der Winddaten und Nabenhöhe der WEA findet eine Umrechnung der Winddaten in der Vertikalen statt. Diese Extrapolation erfolgt unter Annahme eines logarithmischen Höhenprofils der Windgeschwindigkeit. Die erforderlichen mittleren Rauigkeitslängen werden für die WEA auf Basis der Rauigkeitsklassifizierung ermittelt.

Eine Haftung für die Richtigkeit der extrapolierten Werte wird nicht übernommen.

Mit zunehmendem Höhenunterschied zwischen Bezugshöhe der Winddaten und Nabenhöhe der WEA steigen die mit der Umrechnung verbundenen Unsicherheiten. Gleiches gilt für einen zunehmenden Abstand zwischen den WEA-Standorten und den Referenzpunkten der Winddaten. Diese Unsicherheiten können die Verwendung der Winddaten insbesondere als Eingangsdaten für eine standortspezifische Lastrechnung einschränken. Auf eine solche Einschränkung wird gegebenenfalls im Gutachten hingewiesen.



2.5 Gültigkeit der Ergebnisse

Alle Werte mit Höhenbezug beziehen sich, wenn nichts anderes angegeben ist, auf die Nabenhöhe (z_{hub}) der entsprechenden WEA.

Die für den Nachweis der Standorteignung notwendige effektive Turbulenzintensität hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind die Windparkkonfiguration in Form der WEA-Daten (Koordinaten, WEA-Typ, Nabenhöhe, Nennleistung und eventuelle vorhandene Betriebsbeschränkungen), die Windbedingungen (Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, sektorielle Weibull-Parameter der Windgeschwindigkeitsverteilung sowie die Umgebungsturbulenzintensität) und die Typenprüfung der WEA, die festlegt, welcher statistische Wert der Umgebungsturbulenzintensität zugrunde zu legen ist.

Jede Änderung dieser Randbedingungen erfordert daher eine Neubewertung der Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität.

Da bei den betrachteten WEA anlagenspezifische Werte (siehe Kapitel 2.1) berücksichtigt werden, kann insbesondere bei einem Wechsel auf einen anderen WEA-Typ mit z.B. kleinerem Rotordurchmesser nicht unterstellt werden, dass die Aussage des Gutachtens weiterhin gültig ist.

Bei den verwendeten anlagenspezifischen Werten (siehe Kapitel 2.1) kann es sich um berechnete oder gemessene Größen des Herstellers handeln. Diese können voneinander abweichen und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die jeweils aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen. Es wird davon ausgegangen, dass alle betrachteten WEA die in der Typenprüfung zugrunde gelegte Entwurfslebensdauer noch nicht überschritten haben.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens steht nicht fest, welche Dokumente im Rahmen des Genehmigungsverfahrens später bei der Behörde eingereicht werden. Die im Gutachten zitierten Quelldokumente der verwendeten Auslegungswerte müssen daher nicht zwingend mit den Dokumenten übereinstimmen, welche im Rahmen des Bauantrages bzw. der Baugenehmigung vorgelegt werden. Sie dienen hier lediglich als Quellenangabe für die verwendeten Auslegungswerte.

Wenn in den uns vorliegenden Dokumenten zur Auslegung der WEA kein eindeutiger Rückschluss auf Auslegungswerte möglich ist, verwenden wir konservativ abdeckende Werte. Eine Haftung für die Richtigkeit der ermittelten Werte wird nicht übernommen.



Auf Basis des Gutachtens ist zu prüfen, ob die im Gutachten aufgeführten Auslegungswerte mit den Auslegungswerten in den zur Baugenehmigung vorgelegten Dokumenten übereinstimmen. Wenn die Auslegungswerte übereinstimmen ist die Gültigkeit des Gutachtens unabhängig von den zitierten Quelldokumenten gegeben.

Die bei sehr geringen Abständen mögliche gegenseitige Beeinflussung benachbarter WEA durch die Nachlaufschleppe der Turmbauwerke wird nicht betrachtet. Ebenso wird ein möglicher Einfluss von sehr nahe liegenden großen Einzelstrukturen wie z.B. hohen Gebäuden auf betrachtete WEA nicht untersucht.

2.5.1 Betriebsbeschränkungen

Wenn bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen WEA entfallen oder zusätzliche Betriebsbeschränkungen definiert werden, führt dies stets zu gleichbleibenden bzw. niedrigeren effektiven Turbulenzintensitäten. Die getroffenen Aussagen zur Standorteignung sind daher in diesen Fällen weiterhin anwendbar.

Der Einfluss neu geplanter WEA auf bestehende WEA kann sich aber stärker abbilden. Aussagen zu einem nicht signifikanten Einfluss neu geplanter WEA auf bestehende WEA behalten in diesen Fällen daher nicht immer ihre Gültigkeit und sind neu zu bewerten.

Da die Lasten bei einer abgeschalteten WEA auch in der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung der verursachenden Nachbar-WEA geringer sind als im Betrieb bei ungestörter Anströmung, kann statt der windaufwärts gelegenen, verursachenden WEA die zu schützende WEA abgeschaltet werden. Alternative 1b in Tabelle 2.5.1.1 ist also äquivalent zu 1a und umgekehrt. Der in Tabelle 2.5.1.1 angegebene Windgeschwindigkeitsbereich bezieht sich stets auf die Nabenhöhe der eingeschränkten WEA. Bei unterschiedlichen Nabenhöhen ist daher darauf zu achten, dass bei einem Wechsel von Alternativen 1a auf 1b und umgekehrt der Windgeschwindigkeitsbereich auf die andere Nabenhöhe umgerechnet werden muss.

Betriebsbeschränkungen, bei denen für einen bestimmten Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsbereich Abschaltungen definiert sind, decken Betriebsbeschränkungen, bei denen ein anderer Betriebsmodus oder eine Blattwinkelverstellung für dieselben Bereiche definiert wird ab. Alternative 2 (Blattwinkelverstellung) oder 3 (Betriebsmodus) in Tabelle 2.5.1.1 sind durch die Alternativen 1a und 1b in beiden Fällen abgedeckt.

In den Ergebnissen wird in der Regel nur eine der Abschaltungsvarianten dargestellt. D.h., wenn Alternative 1a aus Tabelle 2.5.1.1 dargestellt wird, ist Alternative 1b möglich und umgekehrt. Wenn Alternative 2 oder 3 dargestellt wird, sind auch die Alternativen 1a und 1b möglich.



Tabelle 2.5.1.1: Allgemeines Beispiel für alternative Betriebsbeschränkungen (Erläuterungen zu den Symbolen siehe Anhang Kapitel A.6).

Alternative	Beschränkte 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 Hasenberg (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA 1 und 2). Am Standort befinden sich 16 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.

Für die WEA 10 und 11 wurde eine Nabenhöhe von 166m umgesetzt zuzüglich einer Fundamenterhöhung von 3m.



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
	12, 16, 17	DIBt 2012	WZ 2 GK II

*: Die Angaben zur Entwurfslebensdauer wurden /3.4/ entnommen.

3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zum Standort Hasenberg 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 Hasenberg vorausgesetzt.

3.3 Extremwind am Standort

Durch die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH wurde in /3.3/ der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren standortspezifisch ermittelt.

Der in /3.3/ ermittelte Wert ist in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.

Tabelle 3.3.1: 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren /3.3/.

WEA		v_{50} [m/s]
	Lfd. Nr.	
	1, 2	24.57

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/. Die Höhendaten /1.8/ wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen

Die jeweils in den Berechnungsvarianten im Anhang berücksichtigten Betriebsbeschränkungen sind in Kapitel A.2.6 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 Hasenberg wurde am 31.01.2021 besichtigt /3.2/.

Der Standort lässt sich in die Geländekategorie II 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.3.2.1 - A.3.2.3 des Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.2.1 des Anhangs rot markiert.

Entsprechend der DIBt-Richtlinie /2.8/ werden die Ergebnisse für alle WEA ausgewiesen, deren Abstand bezogen auf den Rotordurchmesser D der geplanten WEA kleiner gleich acht Rotordurchmesser ist. Diese Betrachtungsweise ist abdeckend für alle Referenzwindgeschwindigkeiten v_{ref} (siehe Kapitel 2).

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

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

Es ist zusätzlich in der Tabelle A.3.1.1 des Anhangs die Situation vor dem Zubau der WEA 1 und 2 dargestellt.

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

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

Die Windzone der Standorte der geplanten WEA und der zugehörige 10-min-



Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wurden gemäß /2.10/ bzw. /2.11/ ermittelt und können Tabelle A.3.2.3 des Anhangs entnommen werden.

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

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

5 Nachweis der Standorteignung

5.1 Allgemeine Hinweise

- Bezüglich der Gültigkeit der getroffenen Aussagen gelten die in Kapitel 2.5 genannten Anmerkungen.






5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen

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

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



Tabelle 5.2.1: Übersicht über das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen (+: erfüllt, -: nicht erfüllt, ---: Bewertung nicht erforderlich).

WEA			Einzelergebnisse						Gesamtergebnis
	Lfd. Nr.	Bezeichnung	I_{eff}	α	φ	ρ	A, k	v_{50}	
	1	ABO01	+	---	---	---	-	+	-
	2	ABO02	-	---	---	---	-	+	-
	12	WM01	-			---			-
	16	WM05	-			---			-
	17	WM06	-			---			-

5.2.1 Erläuterungen und Hinweise

- Die Kennlinien der WEA 1 und 2 beziehen sich laut Angaben des Herstellers auf ein frühes Stadium der technischen Entwicklung und können daher noch Änderungen unterliegen.
- Der Einfluss der geplanten WEA auf die WEA 12 und 17 ist so gering, dass sich durch die geplanten WEA keine signifikante Erhöhung der effektiven Turbulenzintensitäten an den WEA 12 und 17 ergibt. Die Überschreitungen an den WEA 12 und 17 sind daher nicht auf die geplanten WEA zurückzuführen, sondern ergeben sich bereits aus der bestehenden Windparkkonfiguration (siehe Tabellen A.3.1.1 und A.3.2.1 des Anhangs).
- Bezüglich der in /3.3/ getroffenen Aussage zum 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren ist gemäß /3.3/ die Möglichkeit einer Überschreitung des in /3.3/ ausgewiesenen Extremwertes nicht auszuschließen, da Extremwinde nicht vorher-sagbaren klimatologischen Einflüssen unterworfen sind und somit Extremwinde eines längeren Bezugszeitraumes auch in einem kürzeren Zeitraum auftreten können.

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

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

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.

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 1 und 2 wurden die resultierenden standortspezifischen Betriebslasten mit der Vestas Site Check Software entsprechend den Anforderungen der Richtlinie /2.2/ überprüft. Dazu wurden in /3.4/ die Winddaten auf die Standorte der WEA 1 und 2 umgerechnet. Der vorliegende standortspezifische Bericht /3.4/ wird als richtig vorausgesetzt und wurde auf Plausibilität hinsichtlich der Eingangsdaten geprüft. Auf Basis der Berechnungen kann laut /3.4/ eine Entwurfslebensdauer der WEA 1 und 2 von 25 Jahren bestätigt werden.



Die Vestas Site Check Software wurde durch Det Norske Veritas (DNV) zertifiziert / 3.5/. Der DNV kommt in /3.5/ zu dem Ergebnis, dass die Vestas Site Check Software geeignet ist, den Nachweis der Integrität der Konstruktion durch Lastberechnungen mit Bezug auf standortspezifische Bedingungen einschließlich der Standardfundamente gemäß /2.2, 2.3/ zu erbringen.



Mit /3.8/ liegt uns eine Stellungnahme eines unabhängigen Gutachters zu den WEA 12, 16 und 17 vor. Laut dieser Stellungnahme wurden auf Basis der Windbedingungen am Standort Hasenberg 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 12, 16 und 17 über den Betriebszeitraum von 25 Jahren durch die Errichtung der zusätzlichen Windenergieanlagen und die damit verbundene zusätzlich induzierte Turbulenzintensität nicht gefährdet /3.8/.

5.3.1 Erläuterungen und Hinweise

Der vorliegende standortspezifische Bericht /3.4/ und die vorliegende standortspezifische Lastberechnung /3.8/ für die WEA 1, 2, 12, 16 und 17 gelten nur vorbehaltlich einer vorliegenden gültigen Typen- bzw. Einzelprüfung für die WEA 1, 2, 12, 16 und 17. Der Typen- bzw. Einzelprüfung müssen dabei mindestens die in /3.3/ und /3.8/ unterstellten Auslegungslasten zugrunde liegen, die zu den in den Tabellen 5.3.1.1 und 5.3.1.2 dargestellten Auslegungswerten gehören.

Tabelle 5.3.1.1: In /3.4, 3.8/ zugrunde gelegte Auslegungswerte.

WEA		Auslegungswerte					
	Lfd. Nr.	Richtlinie	Windzone	Turbulenzkategorie	τ_{design} [a]	v_{ave} [m/s]	k [-]
	1, 2	DIBt 2012	---*	S	25	7.50	2.22
	12, 16, 17	DIBt 2012	WZ 2	A nach IEC Ed. 3 /2.2/	25	7.71	2

---*: Die Bewertung erfolgte mit der zertifizierten Vestas Site Check Software. Die dort hinterlegten Auslegungswerte sind im Bericht /3.4/ nicht ausgewiesen.



Tabelle 5.3.1.2: In /3.4, 3.8/ zugrunde gelegte weitere Windbedingungen der Auslegung.

Weitere Windbedingungen	Wert/Einheit	
Höhenexponent α des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils	WEA 1, 2:	0.27
	WEA 12, 16, 17:	0.2
Mittlere Neigung der Anströmung	WEA 1, 2, 12, 16, 17	8°
Mittlere Luftdichte ρ	WEA 1, 2:	1.224 kg/m ³
	WEA 12, 16, 17:	1.225 kg/m ³

Die in /3.8/ getroffenen und überprüften Aussagen unterliegen der folgenden Auflage und Annahme:

- Der Genehmigung der betrachteten WEA 12, 16 und 17 lag eine Typenprüfung mit einer jährlichen mittleren Windgeschwindigkeit gemäß DIBt 2012, Windzone 2 zugrunde.
- Es wird vorausgesetzt, dass das in /3.8/ verwendete generische Modell der WEA 12, 16 und 17 die zertifizierten Lasten dieser WEA konservativ abbildet.

5.3.2 Einschränkungen

Die in /3.4/ getroffenen und überprüften Aussagen unterliegen den folgenden Einschränkungen:

- Voraussetzung für die Verwendung der Vestas Site Check Software für den Nachweis der Betriebslasten eines spezifischen WEA-Typs ist der Nachweis, dass entsprechend dem in /3.6/ definierten Prozess die Berechnungsergebnisse zu einer akzeptablen Lastabschätzung führen und in einem Bericht dokumentiert werden /3.7/. Ein entsprechender Bericht liegt für den WEA-Typ der WEA 1 und 2 nicht vor.



6 Zusammenfassung

Am Standort Hasenberg (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich 16 weitere benachbarte WEA.

Die Planung wurde von uns daraufhin bewertet, ob die Standorteignung der zu betrachtenden WEA gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ gewährleistet ist.

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

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

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

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 laut Aussage des Herstellers durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten nachgewiesen.	1, 2	---	Kapitel 5.3.2
Standorteignung der weiteren zu betrachtenden WEA:			
Die Standorteignung folgender WEA ist hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA unter Berücksichtigung der genannten Auflage und Annahme laut Aussage eines unabhängigen Gutachters durch den Vergleich mit den Auslegungslasten nachgewiesen.	12, 16, 17	---	---



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/ Nachdigitalisierte SRTM-Höhendaten zum Standort Hasenberg ,2021-01-19_BB-33-62_Biegen.asc'; per E-Mail vom Auftraggeber am 21.01.2021.
- /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/ Winddaten zum Standort Hasenberg; als Dateien 'Anemos_Weibullparameter_alle WEA.xlsx' und '2020-09-24_Hasenberg_Koordinatenliste_WEA.xlsx' per E-Mail vom Auftraggeber am 21.01.2021 und 17.02.2021.
- /3.2/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG; Dokumentation der Standortbesichtigung im Rahmen der Bewertung der Standorteignung von WEA am Standort Hasenberg; Referenz-Nr.: F2E-2020-TGK-038; Februar 2021; Hamburg, Deutschland.
- /3.3/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Hasenberg; Berichts-Nr.: 20-193-7021 182-Rev.00 EX-MS; Reppenstedt, Deutschland.
- /3.4/ Vestas Wind Systems A/S; Wind & Site Vestas Site Specific Load Calculation Hasenberg (Variant A) Rev. 01 - Germany (pdf-File); Document No. WS-Loads-C4C: 44204, Revision 1; 27-05-2021.
- /3.5/ Det Norske Veritas; Statement of Compliance Vestas Site Check, Number CPN-1691-1; Hellerup, Denmark, 2013-06-13; einschließlich Vestas Site Check (VSC) Update: Database inclusion for V112-3.3MW turbine; DNV Doc. No: OC-641691-1T5FDQD; 2015-06-15; Hellerup, Denmark; einschließlich Vestas Site Check (VSC) Update: Database inclusion for V117-3.3MW and V126-3.3MW turbine; DNV Doc. No: OC-641691-1VUHUMP; 2015-08-03; Hellerup, Denmark; einschließlich Vestas Site Check (VSC) Update: Database inclusion for V112-3.45MW; DNV Doc. No: OC-641691-1ZBCNQB, Rev01; 2016-03-29; Hellerup, Denmark; einschließlich Vestas Site Check (VSC) Update: Database inclusion for V117-3.3/3.45MW and V126-3.3/3.45MW turbine; DNV Doc. No: OC-641691-1VUHUMP; 2016-06-08; Hellerup,



- Denmark; einschließlich Vestas Site Check (VSC): Database inclusion for V126-3.45 MW and V136-3.45 MW MK3B 50Hz and 60Hz; LTR-03806-20180702; 2019-01-15; Hellerup, Denmark; einschließlich Vestas Site Check (VSC) database inclusion and loads with Power Speed Adaptor (PSA) for Vestas Mk3E wind turbines; 10212391; 2020-11-06; Hellerup, Denmark.
- /3.6/ Vestas Wind Systems A/S; Vestas Site Check Load Basis Generation and Check Procedure; Type T03, Item no. 0035-4757 V00; Randers, Denmark, 2012-12-05.
- /3.7/ Det Norske Veritas; A Review and Assessment of the Vestas Site Check Code (Auszug); DNV Report No.: PD-641691-13U IHH3-6; Hellerup, Denmark, 15 May 2013.
- /3.8/ TÜV SÜD Industrie Service GmbH; Gutachtliche Stellungnahme, Objekt: Bewertung der Standsicherheit Windenergieanlage Enercon E-138 EP3 E2, 4200 kW 160 m Nabenhöhe über Geländeoberkante, Standort: Hasenberg (BB); Prüfnummer: 3436543-1-d; 26.05.2021; München, Deutschland.

A.1 Allgemeine Daten

A.1.1 Einstellungen

Benutzername	Susann Heise, F2E
Kunde	ABO Wind AG
Projektname	Hasenberg
Variante	B
Referenznummer	F2E-2020-TGK-038
Revision	0
Software	Wake2e 3.10.5.3
Koordinatensystem	WEA-Bibliothek Version 7.356.0
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	31.01.2021
Durchgeführt von	Jörg Schaller für F2E
Ermittelte Geländekategorie	II
Orografisch relevante Struktur	Nein

A.1.4 Erläuterungen und Hinweise

Die WEA 19 ist inaktiv.

Für die WEA 10 und 11 wurde eine Nabenhöhe von 166m umgesetzt zusätzlich einer Fundamenterrhöhung von 3m.



F2E

A.2 Eingabedaten

A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

Methode

Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten

Dateiname

2021-01-19_bb-33-62_biegen.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	ABO01	Vestas V150-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	5.6	150	169	33456487	5793928	1	—	
2	ABO02	Vestas V150-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	5.6	150	169	33456909	5794066	2	—	
3	PI06	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33458199	5795020	3	—	
4	PI07	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33458762	5794736	4	—	
5	PI04	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33457920	5795341	5	—	
6	PI05	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33458747	5795102	6	—	
7	PI01	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33458030	5795788	7	—	
8	PI03	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33458537	5795396	8	—	
9	PI02	Vestas V136 3.45MW mode 0/0-0S (not for HH < 112m)	3.45	136	149	33458493	5795711	9	—	
10	PI11	Vestas V150-4.0/4.2 4.2MW Mode PO1/PO1-0S	4.2	150	169	33458771	5794003	10	—	
11	PI12	Vestas V150-4.0/4.2 4.2MW Mode PO1/PO1-0S	4.2	150	169	33458855	5793518	11	—	

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabella 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						
12	WM01	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33457625	5794760	12	—						
13	WM02	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33458035	5794604	13	—						
14	WM03	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33458368	5794421	14	—						
15	WM04	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33458447	5793728	15	—						
16	WM05	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33457576	5794403	16	—						
17	WM06	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33457780	5794100	17	—						
18	WM07	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	4.2	138.25	160	33458169	5794060	18	—						

A.2.3 Auslegungswerte

Tabella A.2.3.1: WEA-Auslegung

Nr.	Richtlinie	WZ	I_{amb}	I_{des}	v_{design}	v_{ave}	k	α_{min}	α_{max}	φ	ρ	v_{50}	Quellen
1	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	29	20	7.5	2.22	0.27	0.27	8	1.224	37.6	/A.1-A.3/
2	DIBt 2012	WZ S	Repräsentativ	29	20	7.5	2.22	0.27	0.27	8	1.224	37.6	/A.1-A.3/
12	DIBt 2012	WZ 2 GK II	Repräsentativ	5	25	7.71	2	0	0.2	8	1.225	38.96	/A.4/
16	DIBt 2012	WZ 2 GK II	Repräsentativ	5	25	7.71	2	0	0.2	8	1.225	38.96	/A.4/
17	DIBt 2012	WZ 2 GK II	Repräsentativ	5	25	7.71	2	0	0.2	8	1.225	38.96	/A.4/

Tabella A.2.3.2: Auslegungswerte der Turbulenzintensität I_{des} [%]

Id	Turbulenzkategorie	Auslegungswerte 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
5	IEC Ed.3/4 A	—	41.9	34.4	29.9	26.9	24.8	23.2	22.0	21.0	20.1	19.5	18.9	18.4	18.0	17.6	17.3	17.0	16.7	16.5	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.2	15.1
6	IEC Ed.3/4 B	—	36.6	30.1	26.2	23.6	21.7	20.3	19.2	18.3	17.6	17.0	16.5	16.1	15.7	15.4	15.1	14.9	14.6	14.4	14.2	14.1	13.9	13.8	13.6	13.5	13.4	13.3	13.2

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

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
29	Vestas V150/V162-5-x/6.0 (20y lifetime)	—	39.0	36.0	33.4	30.7	28.4	26.5	25.2	22.9	20.7	18.7	16.9	16.0	15.4	14.9	14.5	14.2	13.9	13.7	13.7	13.5	13.3	13.1	13.0	—	—	—	—

A.2.4 Winddaten

Quelle Externe Datei
 Dateiname hasenberg_rev0_winddata.csv

Tabelle A.2.4.1: Wind-Datensatz "ABO01"

A [m/s]	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
													A [m/s]	7.30	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	164
													k [-]	2.740	Aus der Eingabedatei	Ost	33456496
													v _{ave} [m/s]	6.46	Aus der Eingabedatei	Nord	5793938
Häufigkeit (100%=1)	0.0449	0.0485	0.0599	0.0797	0.0713	0.0648	0.0783	0.1301	0.1562	0.1369	0.076	0.0532					

Tabelle A.2.4.2: Wind-Datensatz "ABO02"

A [m/s]	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
													A [m/s]	7.30	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	164
													k [-]	2.750	Aus der Eingabedatei	Ost	33456902
													v _{ave} [m/s]	6.54	Aus der Eingabedatei	Nord	5794055
Häufigkeit (100%=1)	0.0447	0.0488	0.0602	0.0798	0.0707	0.0641	0.0775	0.131	0.1572	0.1368	0.0761	0.0531					

Tabelle A.2.4.3: Wind-Datensatz "PI06"

A [m/s]	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts	
													A [m/s]	7.30	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	149
													k [-]	2.760	Aus der Eingabedatei	Ost	33458199
													v _{ave} [m/s]	6.52	Aus der Eingabedatei	Nord	5795020
Häufigkeit (100%=1)	0.0448	0.049	0.0604	0.0803	0.0702	0.0639	0.0751	0.1296	0.1575	0.1365	0.0797	0.0532					

Tabelle A.2.4.4: Wind-Datensatz "P107"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen		Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.8	6.4	6.9	7.6	7.9	6.7	7.1	7.6	8	7.2	7.4	7.3	A [m/s]	7.40	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	149
k [-]	2.59	2.78	2.84	3.17	3.09	2.74	2.51	2.94	2.84	2.74	2.63	2.54	k [-]	2.750	Aus der Eingabedatei	Ost	33458762
Häufigkeit (100%=1)	0.0446	0.0483	0.0594	0.0799	0.0714	0.0652	0.0761	0.1269	0.155	0.1369	0.0822	0.054	v _{ave} [m/s]	6.56	Aus der Eingabedatei	Nord	5794736

Tabelle A.2.4.5: Wind-Datensatz "P104"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen		Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.9	6.7	7.1	7.6	7.8	7	7.1	7.5	8	6.9	7.2	7.2	A [m/s]	7.30	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	149
k [-]	2.58	2.76	2.83	3.17	3.09	2.76	2.5	2.94	2.84	2.75	2.62	2.54	k [-]	2.760	Aus der Eingabedatei	Ost	33457920
Häufigkeit (100%=1)	0.0447	0.0489	0.0603	0.0803	0.0703	0.0637	0.0753	0.1297	0.1577	0.1366	0.0793	0.0532	v _{ave} [m/s]	6.52	Aus der Eingabedatei	Nord	5795341

Tabelle A.2.4.6: Wind-Datensatz "P105"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen		Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.8	6.4	7	7.5	7.8	6.6	7	7.6	8	7.1	7.4	7.2	A [m/s]	7.30	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	149
k [-]	2.59	2.78	2.83	3.18	3.09	2.74	2.51	2.94	2.84	2.75	2.62	2.54	k [-]	2.750	Aus der Eingabedatei	Ost	33458747
Häufigkeit (100%=1)	0.0446	0.049	0.0602	0.0803	0.0701	0.0641	0.0756	0.1286	0.1572	0.1365	0.0806	0.0534	v _{ave} [m/s]	6.53	Aus der Eingabedatei	Nord	5795102

Tabelle A.2.4.7: Wind-Datensatz "P101"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen		Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.8	6.6	7	7.6	7.8	6.9	7.1	7.5	8	7	7.3	7.2	A [m/s]	7.30	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	149
k [-]	2.58	2.76	2.83	3.15	3.09	2.75	2.5	2.94	2.84	2.75	2.62	2.54	k [-]	2.760	Aus der Eingabedatei	Ost	33458030
Häufigkeit (100%=1)	0.0448	0.0489	0.0599	0.0796	0.0704	0.0641	0.0755	0.1293	0.1568	0.1361	0.081	0.0535	v _{ave} [m/s]	6.54	Aus der Eingabedatei	Nord	5795788

Tabelle A.2.4.8: Wind-Datensatz "P103"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen		Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.8	6.5	7.1	7.5	7.8	6.7	7.1	7.6	8	7.1	7.4	7.2	A [m/s]	7.40	Aus der Eingabedatei	Höhe über Grund [m]	149
k [-]	2.58	2.77	2.83	3.17	3.09	2.74	2.49	2.94	2.84	2.75	2.62	2.54	k [-]	2.750	Aus der Eingabedatei	Ost	33458537
Häufigkeit (100%=1)	0.0443	0.0485	0.0603	0.0809	0.0705	0.0639	0.0739	0.128	0.1577	0.1377	0.0811	0.0532	v _{ave} [m/s]	6.55	Aus der Eingabedatei	Nord	5795396

Tabelle A.2.4.9: Wind-Datensatz "PI02"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen		Koordinaten des Referenzpunkts			
A [m/s]	6.8	6.5	7.1	7.7	7.8	6.7	7.2	7.6	8.1	7.1	7.4	7.2	A [m/s]	7.40	Aus der Eingabedatei		Höhe über Grund [m]	149
k [-]	2.58	2.77	2.83	3.15	3.09	2.74	2.49	2.94	2.84	2.75	2.62	2.54	k [-]	2.750	Aus der Eingabedatei		Ost	33458493
Häufigkeit (100%=1)	0.0445	0.0489	0.0603	0.0802	0.0702	0.0638	0.074	0.1288	0.158	0.137	0.0809	0.0533	v _{ave} [m/s]	6.58	Aus der Eingabedatei		Nord	5795711

Tabelle A.2.4.10: Wind-Datensatz "PI11"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.8	6.6	7.1	7.8	7.9	6.7	7.2	7.8	8.1	7.3	7.4	7.3	A [m/s]	7.50	Aus der Eingabedatei		Höhe über Grund [m]	166
k [-]	2.57	2.76	2.82	3.14	3.07	2.72	2.49	2.92	2.83	2.73	2.61	2.53	k [-]	2.740	Aus der Eingabedatei		Ost	33458771
Häufigkeit (100%=1)	0.0439	0.0489	0.0611	0.0811	0.0703	0.0632	0.0742	0.1285	0.1588	0.1381	0.0791	0.0527	v _{ave} [m/s]	6.66	Aus der Eingabedatei		Nord	5794003

Tabelle A.2.4.11: Wind-Datensatz "PI12"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.8	6.7	7.2	7.8	7.8	6.7	7.2	7.8	8.1	7.3	7.3	7.3	A [m/s]	7.50	Aus der Eingabedatei		Höhe über Grund [m]	166
k [-]	2.58	2.76	2.81	3.14	3.07	2.73	2.49	2.92	2.82	2.73	2.61	2.53	k [-]	2.740	Aus der Eingabedatei		Ost	33458855
Häufigkeit (100%=1)	0.044	0.049	0.061	0.0809	0.0701	0.0633	0.0749	0.1287	0.159	0.138	0.0785	0.0525	v _{ave} [m/s]	6.65	Aus der Eingabedatei		Nord	5793518

Tabelle A.2.4.12: Wind-Datensatz "PI08"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	7	6.8	7.2	7.7	7.7	8	7.1	7.5	8	7	7.2	7.2	A [m/s]	7.40	Aus der Eingabedatei		Höhe über Grund [m]	159
k [-]	2.57	2.75	2.82	3.15	3.08	2.74	2.51	2.94	2.83	2.74	2.62	2.54	k [-]	2.760	Aus der Eingabedatei		Ost	33457625
Häufigkeit (100%=1)	0.0448	0.0487	0.0601	0.0801	0.0707	0.0641	0.0761	0.1296	0.1569	0.1366	0.0792	0.0532	v _{ave} [m/s]	6.58	Aus der Eingabedatei		Nord	5794760

Tabelle A.2.4.13: Wind-Datensatz "PI09"

	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Mittelwerte über alle Richtungen			Koordinaten des Referenzpunkts		
A [m/s]	6.9	6.7	7.1	7.7	7.7	8	7.1	7.6	8	7.1	7.2	7.3	A [m/s]	7.40	Aus der Eingabedatei		Höhe über Grund [m]	159
k [-]	2.58	2.76	2.82	3.15	3.08	2.74	2.51	2.94	2.83	2.74	2.62	2.53	k [-]	2.760	Aus der Eingabedatei		Ost	33458035
Häufigkeit (100%=1)	0.0447	0.0487	0.0601	0.0801	0.0707	0.0641	0.0762	0.129	0.1567	0.1368	0.0795	0.0534	v _{ave} [m/s]	6.59	Aus der Eingabedatei		Nord	5794604



F2E

Tabelle A.2.4.14: Wind-Datensatz "PI10"

A [m/s]	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]	
	6.9	6.6	7.1	7.7	8	7	7.2	7.6	8.1	7.2	7.3	7.4	7.40	2.750	6.63	159	
k [-]	2.58	2.76	2.83	3.15	3.08	2.74	2.5	2.93	2.83	2.74	2.62	2.53	2.760	2.750	6.63	33458368	Ost
Häufigkeit (100%=1)	0.0443	0.0484	0.0601	0.0807	0.0712	0.0642	0.0751	0.1277	0.1567	0.138	0.0803	0.0533	6.56	6.63	6.63	5794421	Nord

Tabelle A.2.4.15: Wind-Datensatz "PI13"

A [m/s]	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]	
	6.9	6.6	7.1	7.8	7.8	6.8	7.1	7.6	7.9	7.2	7.1	7.2	7.40	2.760	6.56	160	
k [-]	2.58	2.77	2.83	3.14	3.07	2.73	2.5	2.94	2.83	2.74	2.62	2.53	2.760	2.760	6.56	33458447	Ost
Häufigkeit (100%=1)	0.0441	0.0487	0.0608	0.0808	0.0706	0.0636	0.0748	0.1286	0.158	0.1386	0.0786	0.0528	6.56	6.56	6.56	5793728	Nord

Tabelle A.2.4.16: Wind-Datensatz "PI16"

A [m/s]	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]	
	7	6.8	7.2	7.8	8	7.1	7.1	7.5	8	7	7.1	7.2	7.40	2.760	6.58	160	
k [-]	2.57	2.75	2.82	3.14	3.08	2.74	2.51	2.94	2.83	2.74	2.62	2.53	2.760	2.760	6.58	33457576	Ost
Häufigkeit (100%=1)	0.0447	0.0486	0.0601	0.0802	0.0708	0.064	0.0761	0.1293	0.157	0.137	0.0791	0.0531	6.58	6.58	6.58	5794403	Nord

Tabelle A.2.4.17: Wind-Datensatz "PI15"

A [m/s]	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]	
	7	6.8	7.1	7.8	7.9	7	7.1	7.4	7.9	7.1	7.1	7.2	7.40	2.760	6.56	160	
k [-]	2.57	2.75	2.82	3.14	3.08	2.74	2.51	2.94	2.83	2.74	2.62	2.53	2.760	2.760	6.56	33457780	Ost
Häufigkeit (100%=1)	0.0445	0.0484	0.0602	0.0802	0.0709	0.0641	0.0762	0.1287	0.1568	0.1375	0.0792	0.0532	6.56	6.56	6.56	5794100	Nord

Tabelle A.2.4.18: Wind-Datensatz "PI14"

A [m/s]	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]	
	7	6.7	7.1	7.8	8	7	7.1	7.5	8	7.2	7.2	7.3	7.40	2.760	6.60	160	
k [-]	2.57	2.76	2.83	3.14	3.08	2.74	2.51	2.94	2.83	2.74	2.62	2.53	2.760	2.760	6.60	33458169	Ost
Häufigkeit (100%=1)	0.0443	0.0484	0.0604	0.0806	0.0711	0.0639	0.0752	0.1283	0.1572	0.1382	0.0795	0.053	6.60	6.60	6.60	5794060	Nord



F2E

Tablle A.2.4.19: Wind-Datensatz "BLU"

	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]	
A [m/s]	7	6.8	7.1	7.8	7.9	7	7	7.3	7.9	7	6.8	7.1	7.30	Aus der Eingabedatei	160		
k [-]	2.57	2.75	2.82	3.13	3.08	2.74	2.52	2.94	2.83	2.74	2.62	2.54	2.760	Aus der Eingabedatei	33457303	Ost	
Häufigkeit (100%=1)	0.0449	0.0488	0.0602	0.0798	0.0707	0.0642	0.0772	0.1304	0.157	0.1368	0.0769	0.0531	6.50	Aus der Eingabedatei	5794021	Nord	

A.2.5 Berechnungsvarianten

Tablle A.2.5.1: Berechnungsvarianten

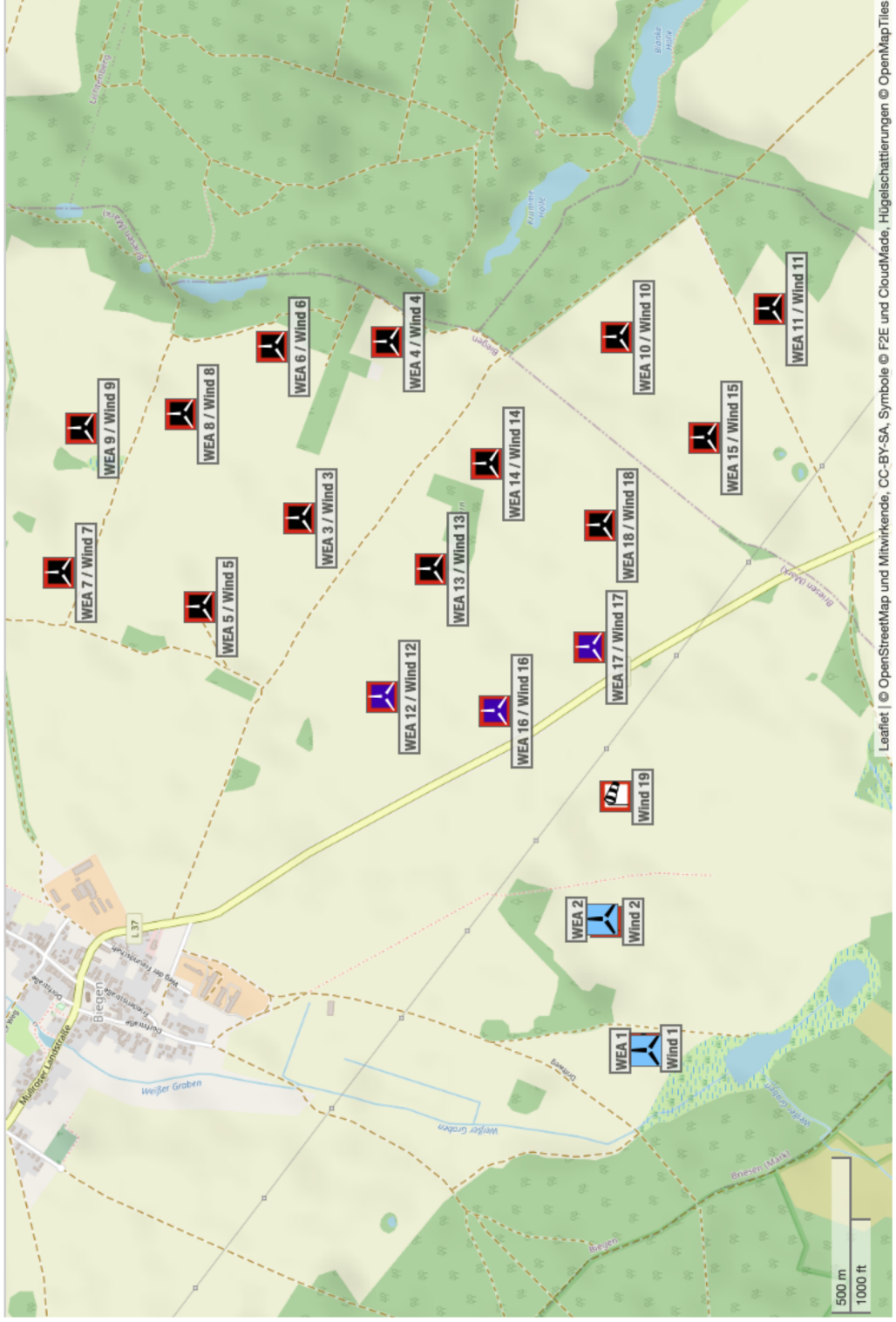
Id	Beschriftung	BBS-Gruppe	Wöhlerlinien-Koeffizient	Einfluss der Orografie ignorieren	Ergebnisse im Abschnitt
1	Situation vor dem Zubau	—	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.1
2	Situation nach dem Zubau	—	Projekt-Vorgabewert	Nein	A.3.2
3	Wöhlerlinienkoeffizient m=4	—	4	Nein	A.3.3
4	Wöhlerlinienkoeffizient m=8	—	8	Nein	A.3.4

A.2.6 Betriebsbeschränkungen (BBS)

Es gibt in diesem Bericht keine Betriebsbeschränkungen.



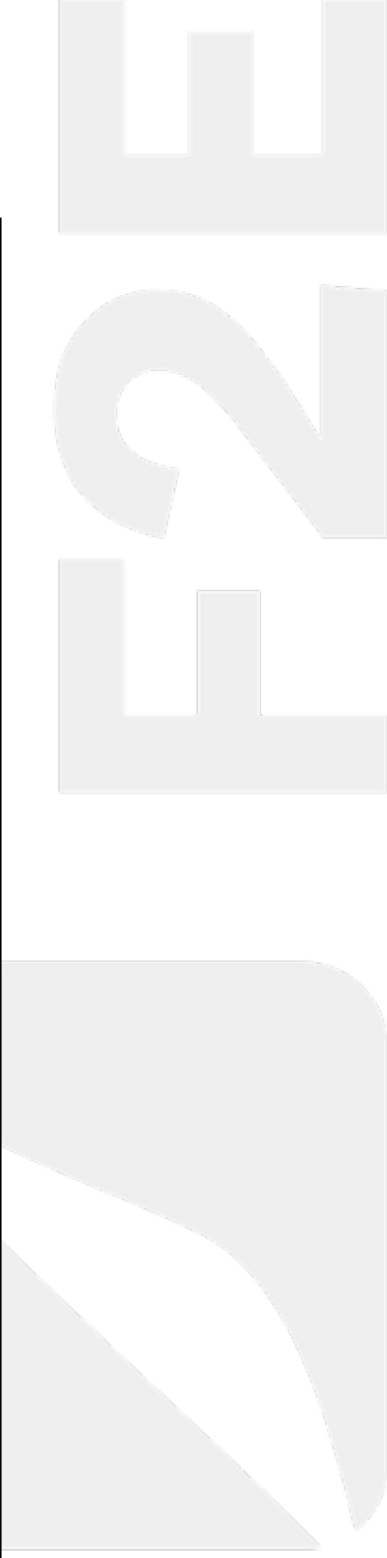
A.2.7 Karte des Windparks



A.2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

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

Nr.	WEA Bezeichnung	Nachbar 1		Nachbar 2		Nachbar 3		Nachbar 4		Nachbar 5	
		Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung	Nr.	Entfernung
1	ABO01	2	2.96	16	8.59	17	9.44	12	10.20	18	12.20
2	ABO02	1	2.96	16	5.41	17	6.30	12	7.21	13	9.03
12	WM01	16	2.61	13	3.17	3	4.63	5	4.79	17	4.90
16	WM05	12	2.61	17	2.64	13	3.62	18	4.96	2	4.98
17	WM06	16	2.64	18	2.83	13	4.09	14	4.85	12	4.90





F2E

A.3 Ergebnisse

A.3.1 Situation vor dem Zubau

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Ja

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

WEA		Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																												
Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
12	WM01	10	—	39.5	39.5	36.0	31.6	27.9	23.9	21.4	19.8	18.4	17.1	16.0	15.2	14.5	14.0	13.5	13.2	12.9	12.7	12.6	12.6	12.5	12.4	12.4	12.3	12.3	12.2	—
16	WM05	10	—	38.9	39.0	35.6	31.3	27.5	23.5	20.9	19.3	17.8	16.4	15.3	14.5	13.9	13.4	13.0	12.7	12.4	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.6	11.5	—
17	WM06	10	—	38.0	38.0	34.9	31.0	27.5	23.7	21.3	19.7	18.2	16.9	15.7	14.8	14.1	13.5	13.1	12.8	12.5	12.2	12.2	12.1	12.0	11.9	11.7	11.7	11.6	11.6	—

A.3.2 Situation nach dem Zubau

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

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

WEA		Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																												
Nr.	Bezeichnung	m	Alle	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	ABO01	10	—	33.8	28.6	25.3	23.2	21.7	20.7	20.1	18.7	16.9	15.6	14.8	14.3	13.9	13.6	13.3	13.0	12.8	12.6	12.5	12.4	12.2	12.0	11.8	—	—	—	—
2	ABO02	10	—	36.6	32.5	29.3	27.3	25.9	25.0	24.6	23.1	20.8	18.7	17.4	16.5	15.8	15.3	14.8	14.4	13.9	13.5	13.2	12.9	12.6	12.3	11.9	—	—	—	—
12	WM01	10	—	39.6	39.5	36.0	31.7	27.9	24.0	21.5	20.0	18.5	17.2	16.2	15.3	14.7	14.2	13.8	13.5	13.2	12.9	12.9	12.8	12.7	12.6	12.5	12.3	12.3	12.2	—
16	WM05	10	—	39.1	39.0	35.6	31.3	27.6	23.7	21.3	19.7	18.2	16.8	15.8	15.0	14.4	14.0	13.6	13.3	13.0	12.7	12.6	12.4	12.3	12.1	12.0	11.6	11.6	11.5	—
17	WM06	10	—	38.2	38.1	34.9	31.0	27.5	23.8	21.4	19.9	18.4	17.0	15.8	14.9	14.2	13.6	13.2	12.8	12.5	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9	11.7	11.7	11.6	11.6	—

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

WEA		Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s																													
Nr.	Bezeichnung	m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
1	ABO01	10	37.7	33.9	30.6	28.5	26.9	25.9	25.3	23.5	20.8	18.3	16.6	15.5	15.1	14.8	14.5	14.2	14.0	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
2	ABO02	10	42.5	38.1	34.3	31.9	30.1	29.0	28.3	26.3	23.4	20.7	19.0	17.7	16.7	16.0	15.3	14.8	14.3	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
12	WM01	10	46.8	47.8	43.8	38.6	34.1	29.1	25.9	23.8	21.9	20.0	18.4	17.1	16.0	15.2	14.5	13.9	13.4	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
16	WM05	10	46.2	47.0	43.1	38.0	33.6	28.6	25.5	23.5	21.6	19.8	18.2	16.9	15.8	15.0	14.3	13.7	13.4	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
17	WM06	10	45.1	45.5	41.6	36.8	32.5	27.9	24.9	23.0	21.1	19.5	18.0	16.8	15.8	15.0	14.3	13.9	13.6	13.3	13.3	13.2	13.2	13.2	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1

Tablle A.3.2.3: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

Nr.	WEA-Typ	WEA-Eigenschaften										Ergebnisse									
		Z _{hub} [m]	D [m]	BBS	Abstand in D	Nr.	Geschützt durch BBS	m [-]	Komplex	σ _n [-]	φ [°]	ρ [kg/m ³]	WZ	V ₅₀ GK2 [m/s]	V ₅₀ GK1 [m/s]	A [m/s]	A _{ekorr} [m/s]	k	V _{ave} [m/s]	V _{ave} ekorr [m/s]	
1	Vestas V150-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	169	150	Nein	2.959	2	Nein	10	Nein	0.14	0.3	1.231	2 / II	39.3		7.29	7.31	2.74	6.49	6.51	
2	Vestas V150-5.6 5.6MW Mode 0 restricted	169	150	Nein	2.959	1	Nein	10	Nein	0.14	0.5	1.231	2 / II	39.3		7.38	7.4	2.75	6.57	6.58	
12	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	160	138.25	Nein	2.606	16	Nein	10	Nein	0.14	0.5	1.230	2 / II	39		7.4	7.41	2.76	6.58	6.59	
16	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	160	138.25	Nein	2.606	12	Nein	10	Nein	0.14	0.6	1.231	2 / II	39		7.4	7.41	2.76	6.58	6.59	
17	ENERCON E-138 EP3 E2 4.2MW Mode OM01s	160	138.25	Nein	2.642	16	Nein	10	Nein	0.14	0.6	1.230	2 / II	39		7.4	7.39	2.76	6.56	6.57	

A.3.3 Berechnungsvariante "Woehlerlinienkoeffizient m=4"

BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

Tablle 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	ABO01	4	—	33.3	27.8	24.3	22.0	20.3	19.1	18.2	17.1	16.1	15.2	14.6	14.1	13.7	13.4	13.1	12.8	12.6	12.4	12.2	12.1	11.9	11.7	11.5	—	—	—	—	
2	ABO02	4	—	35.0	30.2	27.0	24.8	23.3	22.2	21.7	20.7	19.1	17.7	16.8	16.1	15.6	15.1	14.8	14.4	14.1	13.9	13.5	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	—	—	—	—
12	WM01	4	—	37.6	34.9	31.4	27.8	25.0	22.3	20.5	19.3	18.1	17.2	16.4	15.7	15.2	14.8	14.4	14.1	13.8	13.6	13.5	13.5	13.5	13.4	13.3	13.1	13.2	13.2	—	—
16	WM05	4	—	37.3	34.8	31.4	27.8	24.9	22.1	20.4	19.1	17.9	16.8	16.0	15.3	14.8	14.4	14.0	13.7	13.3	13.0	12.9	12.7	12.5	12.3	12.0	11.5	11.5	11.4	—	—
17	WM06	4	—	36.9	34.2	30.9	27.7	24.9	22.2	20.4	19.1	17.8	16.7	15.8	15.0	14.4	13.8	13.4	13.0	12.7	12.4	12.4	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	—	—







A.3.4 Berechnungsvariante “Woeherlinienkoeffizient m=8”










BBS definiert Nein
 Einfluss der Orografie bewerten Ja
 Ist Vorherfall Nein

Tablle 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	ABO01	8	—	33.6	28.3	25.0	22.8	21.2	20.1	19.4	18.1	16.6	15.5	14.8	14.2	13.8	13.5	13.2	13.0	12.7	12.5	12.4	12.3	12.1	11.9	11.7	—	—	—	—	
2	ABO02	8	—	36.0	31.7	28.6	26.5	25.1	24.2	23.9	22.4	20.3	18.4	17.2	16.3	15.7	15.2	14.8	14.4	13.9	13.4	13.2	12.9	12.5	12.2	11.8	—	—	—	—	
12	WM01	8	—	38.7	38.1	34.6	30.5	27.0	23.3	21.1	19.6	18.2	17.1	16.1	15.3	14.7	14.3	13.9	13.5	13.3	13.0	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.4	12.4	—	—	—
16	WM05	8	—	38.4	37.8	34.4	30.3	26.8	23.1	20.9	19.4	18.0	16.7	15.7	15.0	14.4	14.0	13.6	13.3	13.0	12.7	12.6	12.5	12.3	12.1	12.0	11.6	11.5	11.5	—	—
17	WM06	8	—	37.6	36.9	33.8	30.0	26.7	23.2	21.0	19.5	18.1	16.8	15.7	14.9	14.2	13.6	13.2	12.9	12.6	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.6	—	—

A.4 Legende

Erläuterung der Begriffe	
	Geplante WEA WEA, deren Standortierung 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.



F2E

A.5 Literaturangaben

- /A.1/ Vestas Deutschland GmbH; Standortierungsgutachten und verfügbare Typenprüfungen für Projekte in Deutschland; 22.07.2019; Berlin, Deutschland.
- /A.2/ Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz V150-5.6 MW 50/60 Hz 20 Jahre; Dokumentnr.: 0079-1164 V00; 23.10.2018; Aarhus N, Dänemark.
- /A.3/ DNV GL Energy; Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V150-5.0/5.4/5.6 MW mit 166 m Nabenhöhe für Windzone WZ2GK2 (S); Berichts-Nr. L-03642-A052-3a Rev0; 27.02.2019; Hamburg, Deutschland.
- /A.4/ ENERCON GmbH; Technisches Datenblatt General Design Conditions ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / 4200 kW; Dokument-ID: D0745910-5; 29.06.2020; Aurich, Deutschland.

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
GK	Geländekategorie
üNN	über Normal-Null

D	Rotordurchmesser	[m]
Z_{Nab}	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}	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}	Entwurfsliebsdauer in Jahren	[a]
	Allgrad (Vollkreis = 360°)	[°]