TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Energie- und Systemtechnik

Gutachtliche Stellungnahme zur Turbulenzbelastung im Windpark

Wild

Erstellt im Auftrag für

evn naturkraft Erzeugungsges. m.b.H.

Ma. Enzersdorf

Revision 0

Hamburg, 18.06.2018

Revision	Datum	Änderung
0	18.06.2018	Erste Ausgabe

Gegenstand:	Ermittlung der effektiven Turbulenzintensitäten innerhalb des Windparks Wild
Referenz-Nr.:	2017-WND-090-CXLXVIII-R0
Auftraggeber:	evn naturkraft Erzeugungsges. m.b.H. EVN Platz 2344 Ma. Enzersdorf, Österreich

Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:

- Koordinaten der zu berücksichtigenden WEA /20/
  (Koordinatensystem: Österreich MGI, Zone M34)
- WEA-Spezifikationen inkl. Angabe zu Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Nennleistung der geplanten WEA /20/
- Höhendaten an den Koordinaten der geplanten WEA /20/
- Auszug zur Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit (A- und k-Parameter der Weibullverteilung) /21/
- Standortspezifische Lastvergleiche /23/

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

Verfasser	Dr. rer. nat. M. Polster Sachverständige	Hamburg, 18.06.2018
Geprüft durch	Dipl.-Ing. (FH) O. Röglin Sachverständiger	Hamburg, 18.06.2018

Für weitere Auskünfte:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Dr. rer. nat. M. Polster
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 2091
Fax: +49 40 8557 2552
E-Mail: mopolster@tuev-nord.de

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 5

2 Grundlagen 6

3 Randbedingungen 9

3.1 Windparkkonfiguration 9

3.2 Winddaten am Standort 11

4 Durchgeführte Untersuchungen 12

4.1 Komplexität des Geländes 12

4.2 Umgebungsturbulenzintensität 13

4.3 Effektive Turbulenzintensität 15

4.4 Modell- und Datenunsicherheiten 17

5 Zusammenfassung und Bewertung 17

6 Formelzeichen und Abkürzungen 19

7 Literatur- und Quellenangaben 20

8 Zusammenfassung aller Windbedingungen 22

1 Aufgabenstellung

Am Standort Wild (Niederösterreich) plant der Auftraggeber die Errichtung von zehn Windenergieanlagen (WEA 1 bis 10), siehe hierzu Tabelle 1 bzw. Abbildung 1.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist am 25.01.2018 per E-Mail beauftragt worden, die geplante und ggf. bestehende Windparkkonfiguration hinsichtlich ihrer Standsicherheit bezogen auf die Auslegungswerte der Turbulenzintensität zu betrachten und zu bewerten. Dabei ist zusätzlich zur Umgebungsturbulenzintensität der Einfluss der Nachlaufsituationen der WEA am Standort untereinander zu untersuchen und zu bewerten, ob bei den vorgesehenen WEA-Abständen die Auslegungswerte der Turbulenzintensität eingehalten werden.

Nach /5/ wird für eine Prüfung der Standorteignung von WEA das Vorliegen einer gültigen Typen- bzw. Einzelprüfung vorausgesetzt. Die Typen- bzw. Einzelprüfung dient als Standsicherheitsnachweis von Turm und Gründung einer WEA und wird ausgestellt, wenn die in den jeweiligen Richtlinien /3/, /4/, /5/ bzw. /7/, /8/ geforderten Dokumente und Berechnungen des Herstellers (insbesondere die Berechnungen der auf Turm und Gründung wirkenden Lasten) durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle geprüft und bestätigt werden. Sollte zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Typen- bzw. Einzelprüfung für einen bestimmten WEA-Typ vorliegen, so weisen wir unsere Ergebnisse für diese WEA nur unter Vorbehalt aus. Dieser Vorbehalt kann dann entfallen, wenn die in dieser gutachtlichen Stellungnahme zu Grunde gelegten Auslegungswerte durch die Auslegungswerte der mit der Genehmigung eingereichten Typen- bzw. Einzelprüfung abgedeckt werden. Im Folgenden wird nicht mehr ausdrücklich zwischen einer Typen- oder Einzelprüfung unterschieden, sondern vereinfachend nur noch von einer Typenprüfung gesprochen.

Die Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in den jeweiligen Richtlinien /3/, /4/, /5/ bzw. /7/, /8/ festgelegt und Bestandteil der Typenprüfung einer WEA. Auf Basis dieser Auslegungswerte garantiert eine Typenprüfung nach /3/, /4/, /5/ die Standsicherheit einer WEA hinsichtlich der Turbulenzintensität für eine Betriebsdauer von 20 Jahren.

WEA mit einer Gesamthöhe von mehr als 50m sind genehmigungsbedürftige Anlagen gem. § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) /12/ in Verbindung mit Ziff. 1.6 Spalte 2 des Anhangs zur vierten Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) /13/. Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch Nachbar-WEA erhöhte Turbulenzbelastung einer WEA können ersatzweise die Kriterien der Standsicherheit für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines BImSchG-Antrages herangezogen werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Reduktion der Lebensdauer von WEA und deren zusätzliche strukturelle Ermüdung infolge von Immissionen zumutbar sind, solange die Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität gewährleistet bleibt.

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme zur Turbulenzbelastung ist daher gleichzeitig eine Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG /12/.

2 Grundlagen

WEA sind Umweltbedingungen und elektrischen Einflüssen ausgesetzt, welche die Belastung, die Haltbarkeit und den Betrieb beeinträchtigen können. Die Umweltbedingungen werden weiter in Wind- und andere Umweltbedingungen unterteilt. Für die Integrität der Konstruktion zählen die Windbedingungen zu den primären äußeren Einwirkungen.

Für die Auslegung der WEA im Rahmen einer Typenprüfung nach der jeweils zugrunde liegenden DIBt-Richtlinie /3/, /4/, /5/ werden Windzonen (WZ) gemäß Windzonenkarte in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Turbulenzparametern definiert. Hieraus ergeben sich die Windbedingungen der Auslegung und somit auch die Auslegungslasten, die im Rahmen einer Typenprüfung zugrunde gelegt werden. Die Parameter für die Windgeschwindigkeit und die Turbulenz sind so gewählt, dass sie die meisten Anwendungsfälle erfassen sollen, jedoch bilden sie nicht die genaue Darstellung eines spezifischen Standortes ab. Im Rahmen des Prüfverfahrens können daher durchaus auch Fälle eintreten, in der die Auslegungslasten der Typenprüfung nicht die standortspezifischen Lasten abdecken und die Typenprüfung folglich nicht mehr anwendbar ist. In diesen Fällen kann ggf. ein neuer Standsicherheitsnachweis für Turm und Gründung im Rahmen einer Einzelprüfung geführt werden.

Im Rahmen einer Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ sind die Auslegungswerte der Turbulenzintensität mindestens für die Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2004 /7/ nachzuweisen. In der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ wird die im Vergleich zu /4/ (bzw. /7/) nahezu identische Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2011 /8/ nur noch empfohlen. Im Rahmen einer Typenprüfung können daher auch grundsätzlich andere Auslegungswerte der Turbulenzintensität, wie z.B. die niedrigeren Auslegungswerte der Turbulenzkategorien B oder C, zugrunde gelegt werden. Darüber hinaus können WEA für Fälle mit besonderen Wind- oder externen Bedingungen als S-Klasse definiert werden, in der die Auslegungswerte gesondert vom WEA-Hersteller anzugeben sind.

Während die Windgeschwindigkeit am Standort durch benachbarte WEA nicht erhöht wird, nimmt die Belastung infolge lokaler Turbulenzerhöhungen, die auf die einzelne WEA im Windpark einwirkt, zu. Dieser Einfluss ist dann nach /4/ bzw. /5/ zu berücksichtigen, wenn der auf den Rotordurchmesser D bezogene dimensionslose Abstand s_i der jeweils größeren WEA zur benachbarten WEA für typische küstennahe Standorte ($v_{50} \geq 45$m/s) kleiner gleich fünf und für typische Binnenstandorte ($v_{50} \leq 40$m/s) kleiner gleich acht beträgt. In der Betrachtung der Turbulenzbelastung weisen wir dabei konservativ immer die Ergebnisse im Einflussbereich bis 8D, bezogen auf den jeweils größeren Rotordurchmesser der benachbarten WEA, aus.

In /14/ ist das Verfahren nach Frandsen (2007) beschrieben, um den Einfluss mehrerer, unterschiedlich weit entfernter WEA unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Nachlaufsituationen zu bewerten. Das dort verwendete Modell wird sowohl im nationalen als auch im internationalen Regelwerk empfohlen /4/, /5/ bzw. /8/, /9/. Die Bewertung in /14/ erfolgt mit Hilfe einer effektiven Turbulenzintensität I_{eff} und stellt für jede Windgeschwindigkeit die mittlere Turbulenzintensität dar, die über die gesamte Lebensdauer der WEA die gleiche Materialermüdung verursacht, wie die am Standort auftretenden variierenden Turbulenzintensitäten. Sie bewertet die Belastung durch die Umgebungsturbulenzintensität und die zusätzlich durch Nachlaufeffekte induzierte Belastung. Die effektive Turbulenzintensität I_{eff} ist eine materialspezifische Ersatzgröße und somit abhängig vom zu Grunde gelegten materialspezifischen Exponenten der Wöhlerlinie m.

Gegenüber der in /14/ dargestellten Form des Berechnungsverfahrens verwenden wir das dort beschriebene Verfahren nach Frandsen (2007) zur Ermittlung der Turbulenzerhöhungen in der Nachlaufströmung benachbarter WEA mit zwei Modifikationen, welche im Folgenden erläutert werden.

In seiner allgemeinen Definition enthält das in /8/ bzw. /14/ beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Turbulenzintensität im Nachlauf der WEA einen Schätzwert für den anlagenspezifischen Parameter c_T (Schubbeiwert der WEA). Für die Ermittlung der maximalen Turbulenz im Nachlauf einer WEA auf Nabenhöhe (totale Turbulenzintensität I_T) nach dem Modell von Frandsen (2007), berücksichtigen wir abweichend hierzu die anlagenspezifischen Schubbeiwerte der jeweiligen WEA. Neben einer besseren Abbildung der realen Verhältnisse wird damit auch eine Unterschätzung der im Nachlauf produzierten Turbulenz in bestimmten Fällen vermieden, da nach unseren Untersuchungen insbesondere für Multi-Megawatt-WEA der Schätzwert für den Schubbeiwert c_T im Bereich des Erreichens der Nennwindgeschwindigkeit v_{Nenn} in der Regel nicht abdeckend ist. Die berechneten oder gemessenen Schubbeiwerte c_T werden uns seitens des WEA-Herstellers zur Verfügung gestellt und werden von uns als richtig vorausgesetzt. Liegen uns für insbesondere ältere WEA keine Schubbeiwerte c_T vor, so verwenden wir den in /8/ als allgemeingültig definierten windgeschwindigkeitsabhängigen Wert von c_T = 7m/s / v. In /2/ sind eine Reihe von weiteren Modellen zur Ermittlung der totalen Turbulenzintensität beschrieben. Diese decken jedoch im Gegensatz zum Modell von Frandsen (2007) die in /2/ durchgeführten Messungen nur teilweise ab und werden daher nicht von uns verwendet. Des Weiteren wird in /4/, /5/ bzw. /8/ bisher nur das Verfahren nach Frandsen empfohlen.

Die zweite Modifikation betrifft die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation, die nach /8/ bzw. /14/ mit 6% angenommen werden kann. Dieser konstanten Häufigkeit liegt die Annahme eines voll ausgebildeten mit erhöhten Turbulenzintensitäten behafteten Nachlaufs (far wake) zu Grunde, der sich typischerweise drei bis fünf Rotordurchmesser hinter der WEA einstellt. Um auch für geringe WEA-Abstände 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 Windrichtung und der Windgeschwindigkeit berechnet.

Unter Beachtung eines sich ausdehnenden Nachlaufs wird auch die Verminderung der geometrischen Nachlaufwahrscheinlichkeit aufgrund resultierender Höhenunterschiede zwischen benachbarten WEA berücksichtigt. Die Ermittlung der Höhenunterschiede in vertikaler Richtung erfolgt nach einem konservativen Ansatz unter gleichzeitiger Einbeziehung der WEA-Nabenhöhen sowie der vorhandenen Höhendaten (z.B. /17/). Die Ausdehnung des Nachlaufs basiert auf einem in /14/ beschriebenen Nachlaufmodell von Frandsen, bei dem sich der Nachlauf in Abhängigkeit des WEA-spezifischen Schubbeiwertes c_T und somit auch windgeschwindigkeitsabhängig erweitert. Insbesondere bei niedrigen Windgeschwindigkeiten weist der Nachlauf im unmittelbaren Nahbereich bereits eine deutlich größere Ausdehnung als der Rotor selbst auf.

Nach /8/ ist eine Reduktion der mittleren Windgeschwindigkeit innerhalb des Windparks und somit auch die hieraus resultierenden lokalen Turbulenzerhöhungen nur bei WEA-Abständen von weniger als 10D in den Berechnungen zu berücksichtigen. Bei einer größeren Entfernung als 10D muss somit nicht mehr von einem turbulenzerhöhenden Einfluss ausgegangen werden. Für jede WEA wird ein turbulenzerhöhender Einfluss daher nur von benachbarten WEA mit einer geringeren Entfernung als 10D berücksichtigt.

Nach unseren Erfahrungen liefern die zur Anwendung kommenden Modelle zur Berechnung der Turbulenzintensität bei WEA-Abständen unterhalb von etwa 2,5D nur begrenzt belastbare Ergebnisse an den der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung ausgesetzten benachbarten WEA. Bei Einhaltung entsprechender Kriterien können bei Unterschreitungen von 2,5D im Einzelfall dennoch belastbare Aussagen zur Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität getroffen werden. Sollte aus Sicht der nachlaufverursachenden WEA ein WEA-Abstand von ca. 2,0D unterschritten werden, weisen wir die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität für diese benachbarte WEA nicht mehr aus.

Die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} werden mit den entsprechenden Auslegungswerten der Turbulenzintensität verglichen. Liegen die Werte für I_{eff} unterhalb bzw. auf Höhe der Auslegungswerte der Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurde, ist die Standsicherheit der WEA hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität und damit hinsichtlich des Einflusses der WEA untereinander gegeben. Dabei ist bei der Bestimmung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} für die Umgebungsturbulenz nach /4/, /5/ bzw. /8/ eine entsprechende Unsicherheit zu berücksichtigen (siehe Kapitel 4.2).

Liegen die Werte für I_{eff} oberhalb der Auslegungswerte der Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurde, ist zunächst eine Gefährdung der Standsicherheit der betroffenen WEA zu unterstellen.

Werden die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten nicht durch die Auslegungswerte der Turbulenzintensität abgedeckt, so ist es ggf. möglich, die Standsicherheit der WEA hinsichtlich der standortspezifischen Windbedingungen auf Basis eines standortspezifischen Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten nach-

zuweisen. Dieser ist im Vergleich zum hier verwendeten Verfahren im Allgemeinen sehr aufwändig. Für den Fall, dass die standortspezifischen Lasten unterhalb oder auf dem Niveau der Auslegungslasten liegen, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde gelegt wurden, ist die Standsicherheit der WEA hinsichtlich der standortspezifischen Windbedingungen lastseitig gewährleistet. Sollten die standortspezifischen Lasten oberhalb der Auslegungslasten der Typenprüfung liegen, kann die Standsicherheit der betroffenen WEA nicht nachgewiesen werden.

Neben den windgeschwindigkeitsabhängig ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} gehen weitere Windbedingungen (u.a. auch die standortspezifische, mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_m) als Eingangsgrößen in den Lastvergleich der Betriebsfestigkeitslasten ein. Sind die übrigen Windbedingungen am Standort niedriger als die Windbedingungen der Auslegung, so ist ein Nachweis der Standorteignung trotz Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensitäten oft möglich.

Wie bereits beschrieben, können die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} bei zu geringen WEA-Abständen nach unseren Erfahrungen nur noch begrenzt belastbar sein. Wird dies durch unsere Einzelfallprüfung bestätigt, empfehlen wir, die von uns ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten am Standort nicht im Rahmen eines standortspezifischen Lastvergleiches zu verwenden.

3 Randbedingungen

3.1 Windparkkonfiguration

In Tabelle 1 bzw. Abbildung 1 sind die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration dargestellt /20/

Die Bezeichnung der einzelnen WEA in dieser gutachtlichen Stellungnahme bezieht sich auf die laufende Nummer, die aus Tabelle 1 ersichtlich ist.

Im Rahmen der nachfolgenden Bewertung werden keine Betriebsbeschränkungen von WEA berücksichtigt.

lfd. WEA-Nr.		WEA-Bezeichnung	Koordinaten [m]		WEA-Typ	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
			Rechtswert	Hochwert				
	1	BRW 1	683509	397809	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
	2	BRW 2	684055	397334	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
	3	BRW 3	684138	398000	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
	4	BRW 4	684546	397521	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
	5	BRW 5	684430	398223	Vestas V150	4,20	150,0	166,0

lfd. WEA-Nr.	WEA-Bezeichnung	Koordinaten [m]		WEA-Typ	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
		Rechtswert	Hochwert				
6	BRW 6	685112	397606	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
7	BRW 7	684391	398582	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
8	BRW 8	685158	398069	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
9	BRW 9	684191	399115	Vestas V150	4,20	150,0	166,0
10	BRW 10	684984	398583	Vestas V150	4,20	150,0	166,0

Tabelle 1: Windparkkonfiguration (Koordinatensystem: Österreich MGI, Zone M34)

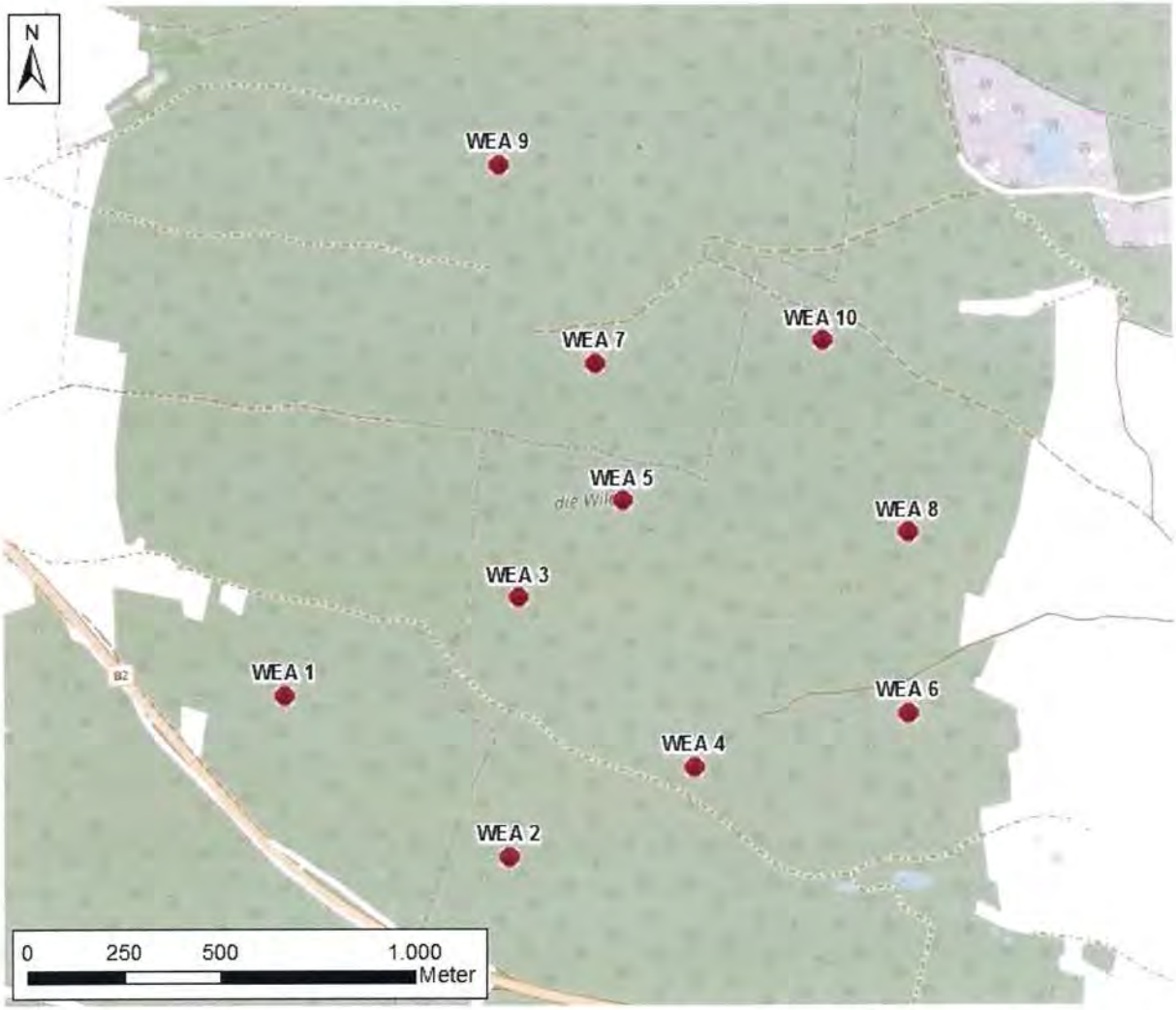

Abbildung 1: Lage des Windparks, Auszug topographische Karte 1:50.000 (vergrößerte Darstellung) /16/

Der geringste auf den jeweils größeren Rotordurchmesser bezogene dimensionslose Abstand s_i zwischen zwei WEA, von denen mindestens eine WEA vom Auftraggeber

neu geplant ist, liegt bei $2{,}41D_{\text{Vestas V150}}$. Dies betrifft die WEA 5 und 7 mit einem Abstand von ca. 362m.

3.2 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /21/ und werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Wild vorausgesetzt.

In /21/ sind die Winddaten für die Referenzpunkte an den Standorten der WEA 1 bis 10 für jeweils eine Höhe von 166,0m angegeben und werden in unseren Berechnungen dementsprechend verwendet. Die Winddaten sind in Tabelle 2 bzw. Abbildung 2 beispielhaft für den Referenzpunkt am Standort der WEA 5 und für eine Höhe von 166,0m ü. Grund dargestellt.

Die mittleren Parameter der Weibullverteilung über alle Sektoren sowie die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_m ist nicht in /21/ angegeben und wurde daher von uns auf Basis des in /15/ beschriebenen Verfahrens unter Nutzung der sektoriellen Winddaten am Standort bestimmt.

Richtungssektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%)	Weibullverteilung	
		A [m/s]	k [-]
N	0,049	7,29	1,877
NNO	0,038	6,61	1,861
ONO	0,032	6,40	1,822
O	0,067	6,83	1,939
OSO	0,184	7,28	1,939
SSO	0,082	6,68	1,818
S	0,019	6,67	1,760
SSW	0,016	7,45	1,865
WSW	0,037	8,46	2,021
W	0,141	9,24	2,432
WNW	0,235	9,74	2,510
NNW	0,099	9,10	2,193
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,23**	**2,043**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_m [m/s]		**7,29**	

Tabelle 2: Winddaten am Standort Wild (Bezugshöhe 166,0m ü. Grund) /21/

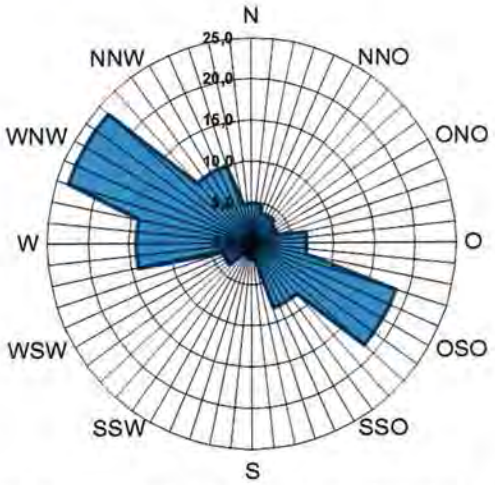

Abbildung 2: Relative Häufigkeit der Windrichtung am Standort Wild in Prozent (Bezugshöhe 166,0m ü. Grund) /21/

4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Komplexität des Geländes

In orografisch strukturiertem Gelände können große Höhendifferenzen und Geländesteigungen zu erhöhten Umgebungsturbulenzen führen. Die Kriterien zur Bewertung der Komplexität des Geländes durch Definition von insgesamt 25 durch den Fußpunkt des Turmes verlaufenden angenäherten Ebenen an das Gelände sind in DIN EN 61400-1:2011 /8/ erläutert. Demnach gilt das Gelände an einem Standort, das nicht alle in Tabelle 3 aufgeführten Einschränkungen erfüllt, als komplex. Kommt mehr als 5% der Windenergie aus einem als orografisch komplex anzusehenden Richtungssektor, so muss für den Nachweis der Integrität der Konstruktion mit Bezug auf die Winddaten für diesen Sektor eine Erhöhung der longitudinalen Komponente der Umgebungsturbulenzintensität durch Multiplikation mit einem Turbulenzstrukturparameter C_{CT} erfasst werden /8/. Der Maximalwert dieses C_{CT} von 1,15 wird erreicht, sobald der summierte Windenergieanteil aus orografisch komplexen Richtungssektoren bei 15% oder mehr liegt. Zwischen einem Windenergieanteil von 5 und 15% variiert C_{CT} dementsprechend zwischen 1 und 1,15.

Abstand von der WEA	Sektor-amplitude	Größte Neigung der angenäherten Ebene	Größte vertikale Geländeabweichung	
< 5 • NH	360°	< 10°	< 0,3 • NH	max. zulässige Fläche mit Überschreitung der Abweichung: jeweils 5 • NH^2
< 10 • NH	30°		< 0,6 • NH	
< 20 • NH	30°		< 1,2 • NH	

Tabelle 3: Bewertungskriterien der Komplexität des Geländes /8/

Zur Bewertung nach den in Tabelle 3 genannten Kriterien werden auf Basis von Höhendaten /17/ an die Orografie angenäherte geneigte Ebenen nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate definiert.

Die Bewertung der Komplexität des Geländes erfolgt für alle zu bewertenden WEA, für die eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ vorliegt bzw. anzunehmen ist. Darüber hinaus bewerten wir die Komplexität des Geländes für geplante WEA, denen eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ zu Grunde liegt und für bestehende WEA mit einer Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/, bei denen im damaligen Genehmigungsverfahren eine Bewertung der Komplexität des Geländes erfolgt ist. Kann anhand der vom Auftraggeber eingereichten Unterlagen die damalige Bewertungsgrundlage von bestehenden WEA nicht oder nur unvollständig festgestellt werden, nehmen wir im konservativen Ansatz eine Bewertung der Komplexität des Geländes ebenso für diese WEA vor.

In unserer nachfolgenden Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität erfolgt für die WEA 1 bis 10 eine Bewertung der Komplexität des Geländes nach /8/.

Am Standort Wild werden an den WEA 1 bis 10 keine der in der Tabelle 3 genannten Komplexitätskriterien überschritten, so dass kein erhöhter Turbulenzstrukturparameter C_{CT} zur Erhöhung der Umgebungsturbulenzintensität berücksichtigt wird.

4.2 Umgebungsturbulenzintensität

Die Turbulenzintensität definiert allgemein das Verhältnis der Standardabweichung σ der zeitlichen Windgeschwindigkeitsverteilung zu ihrem Mittelwert bezogen auf ein Intervall von 600s (10min). 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 die charakteristische Turbulenzintensität I_{char} /4/ bzw. die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} /5/ zu Grunde zu legen. Die charakteristische Turbulenzintensität ergibt sich dabei aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität. Da die mittlere Umgebungsturbulenzintensität im Folgenden rechnerisch ermittelt wird, bilden wir die charakteristische Turbulenzintensität gemäß /10/ durch Multiplikation der mittleren Umgebungsturbulenzintensität mit dem Faktor 1,2. Die in /5/ definierte repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} (90%-Quantil) ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der 1,28fachen Standardabweichung. Dies entspricht der Multiplikation der rechnerisch ermittelten mittleren Umgebungsturbulenzintensität mit dem Faktor 1,256.

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/, wo-

bei Geländeabschnitte bis 25km Entfernung um jeden WEA-Standort einbezogen werden. Ggf. kann die Typisierung auf Basis der amtlichen topografischen Karten /17/ erfolgen bzw. angepasst werden. Den einzelnen Geländeabschnitten werden anschließend Rauigkeitsklassen gemäß den Empfehlungen des für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Europäischen Windatlanten /15/ zugeordnet. Der Einfluss der verschiedenen Geländeabschnitte wird abhängig vom Abstand zum jeweiligen WEA-Standort in zwölf Richtungssektoren à 30° bewertet, wodurch sich gewichtete mittlere Werte für die Rauigkeiten in den jeweiligen Sektoren ergeben.

Auf Grundlage dieser Rauigkeitsklassifizierung werden von uns die charakteristischen bzw. repräsentativen Turbulenzintensitäten auf Basis der Empfehlungen aus /19/ für jeden einzelnen WEA-Standort bestimmt. Die charakteristischen und repräsentativen Turbulenzintensitäten sind im Gegensatz zu den Rauigkeiten nicht nur richtungsabhängig, sondern auch abhängig von der Windgeschwindigkeit und Höhe über Grund und werden entsprechend programmintern für die verschiedenen Richtungen, Windgeschwindigkeiten und Nabenhöhen ermittelt. Der Windgeschwindigkeitsverlauf orientiert sich dabei am Normalen Turbulenzmodell (NTM) /8/. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind beispielhaft die Werte der charakteristischen und repräsentativen Turbulenzintensität für eine Nabenhöhe und Windgeschwindigkeit aufgeführt. Diese Werte berücksichtigen noch keinen ggf. anzusetzenden Turbulenzstrukturparameter C_{CT} für orografisch komplex anzusehende Standorte zur Erhöhung der Umgebungsturbulenz (siehe Kapitel 4.1).

Richtungssektoren	Charakteristische Turbulenzintensität [%]	Repräsentative Turbulenzintensität [%]
N	13,3	13,9
NNO	12,9	13,5
ONO	13,2	13,8
O	12,4	13,0
OSO	11,2	11,7
SSO	13,1	13,7
S	13,5	14,1
SSW	13,8	14,4
WSW	13,3	13,9
W	12,4	13,0
WNW	12,1	12,7
NNW	13,7	14,3

Tabelle 4: Beispielhafte Werte der charakteristischen und repräsentativen Turbulenzintensität am Standort Wild für die Koordinaten 684451 / 398084 (Koordinatensystem: Österreich MGI, Zone M34), Bezugswerte: v = 15m/s, z = 166,0m

4.3 Effektive Turbulenzintensität

Das verwendete Berechnungsverfahren für die effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe ist in Kapitel 2 beschrieben. Für den materialspezifischen Exponenten der Wöhlerlinie m wird die Strukturkomponente der WEA mit dem höchsten Exponenten zu Grunde gelegt. Daraus ergibt sich vereinfacht für allgemein gebräuchliche WEA ein Wert von m = 10 /18/ für glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) mit einem Fasergehalt von mindestens 30 Vol.-% und höchstens 55 Vol.-% /11/. Für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) mit einem Fasergehalt von mindestens 50 Vol.-% und höchstens 60 Vol.-% und einer Epoxidharzmatrix wird ein Wert von m = 14 vorgeschlagen /11/. Bei hiervon abweichenden Fasergehalten oder Matrixharzen müssen ggf. herstellerspezifische materialspezifische Exponenten der Wöhlerlinie verwendet werden. Ebenso können WEA-Hersteller nachweisen, dass auch unter Verwendung geringerer materialspezifischer Exponenten der Wöhlerlinie der Vergleich der Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensitäten mit den Auslegungswerten für einen strukturellen Ermüdungsnachweis zulässig ist.

Entsprechend der Definition der Turbulenzintensität steigt ihr Wert mit abnehmender Windgeschwindigkeit an. Diesem physikalischen Umstand tragen die DIBt-Richtlinien 2004 /4/ und 2012 /5/ Rechnung, indem sie die Auslegungswerte für die Turbulenzintensität windgeschwindigkeitsabhängig definieren.

Für die WEA 1 bis 10, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu Grunde gelegt wird bzw. unter Vorbehalt unterstellt werden kann, sind die windgeschwindigkeitsabhängigen Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität in Tabelle 5 maßgeblich für eine Bewertung der Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität. Als Teil der Auslegung bezieht sich die DIBt-Richtlinie 2012 /5/ bzw. /8/ auf die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep}.

Der Vergleich der Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität für WEA, die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinien 2012 /5/ oder 2004 /4/ besitzen, erfolgt mit den jeweils zu Grunde gelegten Auslegungswerten. Sollten Auslegungswerte von der Turbulenzkategorie A nach /8/ bzw. /7/ abweichen, werden die WEA in Tabelle 5 farblich markiert.

Der Nachweis der Integrität der WEA in Bezug auf den Auslegungswert der Turbulenzintensität ist nach /5/ bzw. /8/ für den Bereich vom 0,2fachen bis zum 0,4fachen der Referenzwindgeschwindigkeit v_{ref} zu führen. Für den Standort Wild ist dabei für alle in dieser Berechnung betrachteten Nabenhöhen ein Windgeschwindigkeitsbereich von 5 bis 20m/s abdeckend und wird entsprechend in Tabelle 5 aufgeführt.

Der Nachlauf direkt hinter einer WEA wird hauptsächlich durch die Geometrie des Rotorblattes, den Rotordurchmesser sowie durch die windgeschwindigkeitsabhängigen Schubbeiwerte der jeweiligen WEA bestimmt /14/. Da unter anderem die exakte Geometrie des Rotorblattes nicht in die Berechnungen einfließt, und insgesamt rein theoretische Modellannahmen getroffen werden müssen /8/ (siehe Kapitel 4.4), können nach unseren Erfahrungen die zur Anwendung kommenden Berechnungsmodel-

le bei WEA-Abständen unterhalb von etwa 2,5D nur begrenzt belastbare Ergebnisse an den der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung ausgesetzten benachbarten WEA liefern (siehe Kapitel 2). Im Rahmen von Einzelfallprüfungen wird von uns auf Basis entsprechender Kriterien entschieden, ob im Rahmen der nachfolgenden Auswertung belastbare Aussagen zur Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität getroffen werden können. Einige wesentliche Kriterien hierfür sind z.B. der Energieanteil des Nachlaufsektors und die Komplexität des WEA-Standortes. Wird im Rahmen der Einzelfallprüfungen festgestellt, dass die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} nur begrenzt belastbar sind, werden diese in Tabelle 5 entsprechend markiert (*). Die mit (*) markierten Werte empfehlen wir nicht als Eingangsgröße im Rahmen eines standortspezifischen Lastvergleiches.

Im Falle von Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde zu legen sind, sind diese in Tabelle 5 jeweils fett und kursiv gedruckt.

DIBt-Richtlinie		**DIBt 2012**							
Windgeschwindigkeit [m/s]		**4-6**	**6-8**	**8-10**	**10-12**	**12-14**	**14-16**	**16-18**	**18-20**
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 3 /8/ (Kurve A)		**29,9**	**24,8**	**22,0**	**20,1**	**18,9**	**18,0**	**17,3**	**16,7**
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 3 /8/ (Kurve B)		**26,2**	**21,7**	**19,2**	**17,6**	**16,5**	**15,7**	**15,1**	**14,6**
lfd. WEA-Nr.		**Ergebnisse [%] auf NH der WEA**							
	1	24,3	20,8	18,6	16,0	14,3	13,2	12,6	12,1
	2	24,8	21,6	***19,6***	17,0	15,3	14,2	13,5	13,0
	3	***26,8***	***23,6***	***21,3***	***18,1***	15,8	14,4	13,6	13,0
	4	25,9	***23,0***	***21,1***	***18,4***	16,5	15,2	14,4	13,8
	5	***28,1***	***25,4***	***23,4***	***20,2***	***17,8***	***16,2***	***15,2***	14,5
	6	***26,2***	***23,4***	***21,5***	***18,7***	***16,8***	15,5	14,6	14,0
	7	***27,0***	***23,9***	***21,7***	***18,7***	***16,5***	15,2	14,3	13,7
	8	26,2	***23,3***	***21,4***	***18,8***	***16,9***	15,7	14,8	14,2
	9	24,4	20,9	18,7	16,2	14,7	13,8	13,3	12,9
	10	25,5	***22,7***	***20,9***	***18,3***	16,4	15,2	14,4	13,8

Tabelle 5: Ergebnisse für die effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe (DIBt 2012)

4.4 Modell- und Datenunsicherheiten

Generell bilden Berechnungsmodelle die Realität nur annähernd ab. Die unter den genannten Randbedingungen ermittelten Ergebnisse können daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung verwendet werden. Insbesondere sind die Unsicherheiten der Berechnungen bei eng gewählten WEA-Abständen höher einzuschätzen (siehe Kapitel 2).

Im Rahmen der durchgeführten Berechnungen wurden teils vereinfachte Annahmen und Randbedingungen getroffen. Sämtliche Vereinfachungen sind dabei stets konservativ gewählt worden.

5 Zusammenfassung und Bewertung

Am Standort Wild (Niederösterreich) plant der Auftraggeber die Errichtung von zehn WEA (WEA 1 bis 10).

Die Planung wurde durch die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG daraufhin bewertet, ob bei den gewählten WEA-Abständen die Auslegungswerte der Turbulenzintensität an den betrachteten WEA eingehalten werden. Das hier eingesetzte Verfahren liefert unter den verwendeten Randbedingungen ein konservatives Ergebnis für die effektive Turbulenzintensität. Die Standsicherheit der WEA hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität ist daher ohne weiteren Sicherheitszuschlag gewährleistet, wenn die Ergebnisse den jeweiligen Auslegungswert nicht überschreiten.

Die Ergebnisse dienen gleichzeitig als Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG /12/. Das bedeutet, dass die Immissionen auf WEA zumutbar sind, solange die Standsicherheit der WEA hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der nachzuweisenden Auslegungslasten, nachgewiesen ist.

Im Vergleich der windgeschwindigkeitsabhängigen Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} am Standort mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde zu legen sind, zeigen sich an den WEA 2 bis 8 und 10 Überschreitungen (siehe Tabelle 5).

Für die geplanten WEA 1 bis 10 zeigt sich, dass die jeweilige 50-Jahreswindgeschwindigkeit am Standort v_{50} auf Nabenhöhe (vgl. Kap. 8) durch den Auslegungswert der zu Grunde gelegten Typenprüfung von 37,5m/s /22/ abgedeckt wird.

An den WEA 1 bis 10 wird der Auslegungswert der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von 7,0m/s /22/ jeweils überschritten (vgl. Kap. 8).

Für die WEA 1 bis 10 wurden mit den entsprechenden effektiven Turbulenzintensitäten und den standortspezifischen Windbedingungen als Eingangsparameter (siehe Kap. 8) durch den WEA-Hersteller standortspezifische Lastvergleiche der Betriebs-

festigkeitslasten durchgeführt und in /23/ dokumentiert. Die standortspezifischen Lastvergleiche des WEA-Herstellers ergaben für die WEA 1 bis 10 nach dessen Angaben keine relevanten Überschreitungen, so dass die Standorteignung lastseitig gewährleistet ist. Die vorliegenden standortspezifischen Lastvergleiche wurden auf Plausibilität hinsichtlich der oben genannten Eingangsparameter geprüft. Die Berechnungen des WEA-Herstellers sowie die zum Vergleich herangezogenen Auslegungslasten in /23/ wurden keiner Prüfung unterzogen und werden als richtig vorausgesetzt. Die standortspezifischen Lastvergleiche in /23/ wurden TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG im Rahmen einer Geheimhaltungsvereinbarung vorgelegt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Standsicherheit der WEA 1 bis 10 hinsichtlich der standortspezifischen Windbedingungen unter Berücksichtigung der Lastvergleiche der Betriebsfestigkeitslasten /23/ nach Aussagen des Herstellers lastseitig nachgewiesen ist.

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme ist nur in ihrer Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden überlieferten Dokumente.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der vom Auftraggeber bzw. Dritter übermittelten Informationen und Angaben und für durch unrichtige Angaben bedingte falsche Aussagen.

Die von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG erbrachten Leistungen (z.B. Gutachten-, Prüf- und Beratungsleistungen) dürfen nur im Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks verwendet werden. Vorbehaltlich abweichender Vereinbarungen im Einzelfall, räumt TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG dem Auftraggeber an seinen urheberrechtsfähigen Leistungen jeweils ein einfaches, nicht übertragbares sowie zeitlich und räumlich auf den Vertragszweck beschränktes Nutzungsrecht ein. Weitere Rechte werden ausdrücklich nicht eingeräumt, insbesondere ist der Auftraggeber nicht berechtigt, die Leistungen des Auftragnehmers zu bearbeiten, zu verändern oder nur auszugsweise zu nutzen.

Eine Veröffentlichung der Leistungen über den Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks hinaus, auch auszugsweise, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung von TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Eine Bezugnahme auf TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist nur bei Verwendung der Leistung in Gänze und unverändert zulässig.

Bei einem Verstoß gegen die vorstehenden Bedingungen ist TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG jederzeit berechtigt, dem Auftraggeber die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

6 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage(n)	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung	
WZ	Windzone	
WEA	Windenergieanlage(n)	[-]
P_{Nenn}	Nennleistung der jeweiligen WEA	[MW]
D	Rotordurchmesser	[m]
NH	Nabenhöhe	[m]
s_i	der auf den Rotordurchmesser der jeweils größeren WEA bezogene dimensionslose Abstand von der Turmachse der betrachteten WEA zur Turmachse der benachbarten WEA	[-]
c_t	Schubbeiwert des Rotors	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe	[-]
I_{char}	Charakteristische Turbulenzintensität bei 15m/s	[-]
I_{rep}	Repräsentative Turbulenzintensität bei 15m/s	[-]
A	Skalierungsparameter der Weibullverteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
v	Windgeschwindigkeit (allgemein)	[m/s]
m	Exponent der Wöhlerlinie	[-]
C_{CT}	Turbulenzstrukturparameter	[-]
v_m	Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{ref}	10-min-Mittelwert der extremen Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren	[m/s]
σ	Standardabweichung der mittleren Windgeschwindigkeit	[m/s]
	Altgrad (Vollkreis = 360)	[°]

7 Literatur- und Quellenangaben

/1/ European Environmental Agency, CORINE Land Cover 2012 raster data (100m) – Version 18 (12/2016); https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2012-raster; Kopenhagen; 2016

/2/ Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II, ECN Solar & Wind Energy; Petten, Niederlande; 1998

/3/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; DIBt, Berlin; 2. Aufl. 1995

/4/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; DIBt, Berlin; 2004

/5/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012; DIBt, Berlin; 2012

/6/ Deutsches Institut für Normung e.V.; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010; Berlin; Dezember 2010

/7/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127 Teil 1), Windenergieanlagen - Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 61400-1:1999, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61400-1:2004; Berlin; August 2004

/8/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1), Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010; Berlin; August 2011

/9/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010

/10/ Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH; Guideline for the Certification of Wind Turbines; Hamburg; Edition 2003 with Supplement 2004

/11/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH; Guideline for the Certification of Wind Turbines; Hamburg; Edition 2010

/12/ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943)

/13/ Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756)

/14/ Risø National Laboratory; Frandsen, St. T.; Turbulence and turbulence-generated structural loading in wind turbine clusters; Wind Energy Department; Risø-R-1188(EN); Roskilde, Dänemark; Januar 2007

/15/ Risø National Laboratory; European Wind Atlas; Roskilde, Dänemark; 1989

/16/ Openstreetmap und Mitwirkende; http://www.openstreetmap.org; veröffentlicht unter http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0, CC-BY-SA, August 2012

/17/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 2008

/18/ Kunte, A; Turbulenz-Immissionsprognosen vereinheitlicht; WIND-KRAFT Journal; Verlag Natürliche Energien, Ausgabe 4/2009, S.28 bis 30; Seevetal

/19/ VDI 3783 Blatt 12; Umweltmeteorologie - Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Verein Deutscher Ingenieure; 1999

/20/ EVN AG; E-Mail mit beigefügten Koordinaten und Angaben zur WEA-Spezifikation inkl. Angabe zu Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Nennleistung der geplanten WEA, Höhendaten an den Koordinaten der geplanten WEA; 12.01.2018

/21/ ENAIRGY Windenergie GmbH; Auszug zur Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit für den Windpark Wild (BRW Windpark Wild 10 Vestas V150 166 m NH, 2018-01.xlsx); erhalten am 12.01.2018

/22/ Vestas Deutschland GmbH; Dokument mit Informationen zu den verfügbaren Typenprüfungen sowie zu den Auslegungsbedingungen hinsichtlich der Windzone und Geländekategorie, der 50-Jahreswindgeschwindigkeit, der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit und der Turbulenzintensität für aktuelle Windenergieanlagen; Dokument-Nr.: T05 0054-2960 Ver 10; Husum; 03.08.2017

/23/ Vestas Wind Systems A/S; Wind & Site, Vestas Site Specific Load Calculation, Wild – Austria; Document No.: WS-Loads-C4C: 2301; Rev. 0; 14.06.2018

8 Zusammenfassung aller Windbedingungen

WEA 1	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	33,3	27,5	24,3	22,3	20,8	19,7	18,6	17,2	16,0
m = 8	33,1	27,3	24,0	21,9	20,4	19,3	18,1	16,8	15,6
m = 4	32,6	26,8	23,4	21,1	19,5	18,2	17,1	15,9	14,9
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	15,0	14,3	13,7	13,2	12,9	12,6	12,3	12,1	12,0
m = 8	14,7	14,1	13,5	13,1	12,7	12,5	12,2	12,0	11,9
m = 4	14,2	13,6	13,2	12,8	12,5	12,3	12,1	11,9	11,8

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,047	6,98	1,877	-	13,7	14,3	2,2
NNO	0,037	6,30	1,865	-	13,3	13,9	1,9
ONO	0,033	6,15	1,826	-	13,5	14,1	1,7
O	0,067	6,83	1,936	-	12,9	13,5	0,3
OSO	0,187	7,12	1,936	-	12,3	12,9	0,5
SSO	0,078	6,38	1,818	-	13,5	14,1	0,9
S	0,019	6,48	1,756	-	13,4	14,0	1,4
SSW	0,015	7,15	1,861	-	13,6	14,2	1,8
WSW	0,037	8,28	2,021	-	12,3	12,9	1,7
W	0,141	9,31	2,424	-	11,7	12,2	0,6
WNW	0,240	9,78	2,506	-	11,3	11,8	0,4
NNW	0,100	9,25	2,189	-	11,9	12,5	1,2
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,17**	**2,022**	**0,15**	**11,8**	**12,4**	**0,8**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,24**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,58 /21/**			

Tabelle 6: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 1

WEA 2	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	33,4	27,9	24,8	22,9	21,6	***20,7***	***19,6***	18,3	17,0
m = 8	33,2	27,6	24,5	22,5	21,2	20,2	19,2	17,9	16,8
m = 4	32,7	26,9	23,7	21,6	20,2	19,2	18,2	17,1	16,1
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	16,0	15,3	14,7	14,2	13,8	13,5	13,2	13,0	12,8
m = 8	15,8	15,1	14,6	14,1	13,7	13,4	13,2	13,0	12,8
m = 4	15,4	14,8	14,3	13,9	13,6	13,3	13,1	12,9	12,7

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)

Richtungs-sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/	Weibullverteilung		α [-]	I_{char} [%]	I_{rep} [%]	$\varphi_{inkl.}$ [°]
		A [m/s] /21/	k [-] /21/				
N	0,048	6,93	1,877	-	13,7	14,3	1,0
NNO	0,037	6,29	1,861	-	13,3	13,9	0,7
ONO	0,032	6,20	1,818	-	13,1	13,7	0,6
O	0,065	6,82	1,936	-	12,4	13,0	0,3
OSO	0,187	7,21	1,936	-	11,8	12,4	0,2
SSO	0,081	6,55	1,818	-	13,3	13,9	0,7
S	0,019	6,56	1,760	-	13,1	13,7	1,7
SSW	0,015	7,21	1,854	-	13,6	14,2	1,7
WSW	0,038	8,04	2,045	-	13,3	13,9	1,8
W	0,139	9,15	2,432	-	12,4	13,0	1,2
WNW	0,241	9,74	2,506	-	11,9	12,5	0,3
NNW	0,100	9,18	2,182	-	13,1	13,7	0,1
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,16**	**2,033**	**0,15**	**12,4**	**12,9**	**0,5**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,23**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,70 /21/**			

Tabelle 7: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 2

WEA 3	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	35,1	29,7	***26,8***	***25,0***	***23,6***	***22,6***	***21,3***	***19,7***	***18,1***
m = 8	34,8	29,3	***26,3***	***24,3***	***22,9***	***21,8***	***20,6***	***19,0***	17,5
m = 4	34,1	28,4	25,2	23,1	21,5	20,3	19,0	17,6	16,4
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	16,8	15,8	15,1	14,4	14,0	13,6	13,3	13,0	12,8
m = 8	16,3	15,5	14,7	14,2	13,8	13,4	13,1	12,9	12,8
m = 4	15,5	14,8	14,2	13,8	13,4	13,2	12,9	12,7	12,6

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{Inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,048	7,07	1,877	-	13,4	14,0	0,4
NNO	0,037	6,44	1,861	-	13,1	13,7	0,7
ONO	0,032	6,21	1,822	-	13,3	13,9	0,9
O	0,066	6,75	1,939	-	12,5	13,1	0,1
OSO	0,185	7,18	1,936	-	11,7	12,2	0,7
SSO	0,081	6,55	1,818	-	13,2	13,8	1,7
S	0,019	6,60	1,760	-	13,4	14,0	1,8
SSW	0,015	7,29	1,861	-	13,8	14,4	1,2
WSW	0,037	8,26	2,029	-	13,1	13,7	1,3
W	0,139	9,19	2,428	-	12,0	12,6	0,9
WNW	0,239	9,76	2,506	-	11,8	12,4	0,6
NNW	0,100	9,11	2,189	-	13,5	14,1	0,4
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,17**	**2,032**	**0,15**	**12,3**	**12,9**	**0,7**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,24**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,67 /21/**			

Tabelle 8: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 3

WEA 4	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	34,1	28,8	25,9	***24,2***	***23,0***	***22,1***	***21,1***	***19,7***	***18,4***
m = 8	33,8	28,5	25,6	***23,8***	***22,6***	***21,7***	***20,7***	***19,4***	***18,1***
m = 4	33,2	27,8	24,8	23,0	21,7	***20,8***	***19,8***	***18,6***	17,5
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	***17,3***	16,5	15,8	15,2	14,8	14,4	14,1	13,8	13,6
m = 8	***17,0***	16,3	15,6	15,1	14,6	14,3	14,0	13,7	13,5
m = 4	16,5	15,9	15,3	14,8	14,4	14,0	13,7	13,5	13,3

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{Inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,047	7,01	1,877	-	13,5	14,1	1,3
NNO	0,037	6,30	1,865	-	13,1	13,7	1,1
ONO	0,032	6,30	1,814	-	12,4	13,0	0,1
O	0,065	6,85	1,936	-	12,0	12,6	0,7
OSO	0,188	7,30	1,936	-	11,5	12,0	1,4
SSO	0,080	6,59	1,814	-	12,8	13,4	1,3
S	0,019	6,48	1,760	-	13,3	13,9	0,7
SSW	0,015	7,20	1,861	-	13,6	14,2	0,0
WSW	0,038	8,07	2,053	-	13,5	14,1	0,1
W	0,141	9,16	2,432	-	12,8	13,4	1,0
WNW	0,241	9,76	2,506	-	12,1	12,7	0,3
NNW	0,098	8,99	2,182	-	13,7	14,3	0,9
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,17**	**2,039**	**0,15**	**12,5**	**13,1**	**0,7**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,24**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,74 /21/**			

Tabelle 9: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 4

WEA 5	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	35,8	***30,8***	***28,1***	***26,5***	***25,4***	***24,5***	***23,4***	***21,8***	***20,2***
m = 8	35,4	***30,2***	***27,4***	***25,7***	***24,5***	***23,6***	***22,5***	***21,0***	***19,4***
m = 4	34,4	28,9	25,9	***24,0***	***22,6***	***21,5***	***20,4***	***19,0***	***17,8***
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	***18,8***	***17,8***	***16,9***	***16,2***	***15,7***	***15,2***	14,8	14,5	14,3
m = 8	***18,2***	***17,2***	***16,4***	***15,8***	15,3	14,9	14,5	14,3	14,1
m = 4	16,7	16,0	15,4	14,9	14,5	14,2	13,9	13,7	13,6

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{Inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,049	7,29	1,877	-	13,3	13,9	0,8
NNO	0,038	6,61	1,861	-	12,9	13,5	1,2
ONO	0,032	6,40	1,822	-	13,3	13,9	0,5
O	0,067	6,83	1,939	-	12,5	13,1	0,2
OSO	0,184	7,28	1,939	-	11,2	11,7	1,3
SSO	0,082	6,68	1,818	-	13,1	13,7	1,5
S	0,019	6,67	1,760	-	13,5	14,1	2,0
SSW	0,016	7,45	1,865	-	13,9	14,5	2,6
WSW	0,037	8,46	2,021	-	13,2	13,8	1,7
W	0,141	9,24	2,432	-	12,4	13,0	0,3
WNW	0,235	9,74	2,510	-	12,1	12,7	0,4
NNW	0,099	9,10	2,193	-	13,7	14,3	0,5
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,23**	**2,043**	**0,14**	**12,5**	**13,1**	**0,7**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,29**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,81 /21/**			

Tabelle 10: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 5

WEA 6	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	34,1	29,0	***26,2***	***24,5***	***23,4***	***22,5***	***21,5***	***20,1***	***18,7***
m = 8	33,7	28,5	25,8	***24,1***	***22,9***	***22,1***	***21,1***	***19,7***	***18,4***
m = 4	32,6	27,4	24,7	23,0	***21,8***	***21,0***	***20,1***	***18,9***	***17,8***
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	***17,6***	***16,8***	16,1	15,5	15,0	14,6	14,3	14,0	13,8
m = 8	***17,4***	***16,6***	15,9	15,4	14,9	14,5	14,2	13,9	13,7
m = 4	16,9	16,2	15,6	15,1	14,7	14,3	14,0	13,8	13,5

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,048	7,14	1,877	-	13,3	13,9	1,4
NNO	0,038	6,59	1,861	-	12,4	13,0	0,1
ONO	0,032	6,49	1,807	-	11,4	11,9	1,0
O	0,066	6,87	1,939	-	11,6	12,1	1,9
OSO	0,185	7,28	1,939	-	10,6	11,1	2,5
SSO	0,082	6,71	1,814	-	11,6	12,1	2,4
S	0,019	6,67	1,756	-	13,2	13,8	1,2
SSW	0,015	7,40	1,857	-	13,6	14,2	1,0
WSW	0,039	8,19	2,057	-	13,7	14,3	0,8
W	0,144	9,10	2,443	-	13,1	13,7	0,2
WNW	0,236	9,65	2,510	-	12,9	13,5	0,7
NNW	0,096	8,81	2,186	-	14,1	14,8	1,4
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,15**	**2,054**	**0,14**	**12,8**	**13,4**	**1,1**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,22**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,63 /21/**			

Tabelle 11: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 6

WEA 7	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	35,2	29,8	***27,0***	***25,2***	***23,9***	***22,9***	***21,7***	***20,2***	***18,7***
m = 8	34,8	29,3	***26,4***	***24,5***	***23,2***	***22,1***	***21,0***	***19,5***	***18,1***
m = 4	33,9	28,3	25,2	23,1	21,6	***20,4***	***19,3***	17,9	16,8
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	***17,4***	***16,5***	15,8	15,2	14,7	14,3	14,0	13,7	13,5
m = 8	16,9	16,1	15,4	14,9	14,4	14,1	13,8	13,6	13,4
m = 4	15,9	15,3	14,7	14,3	13,9	13,7	13,4	13,3	13,1

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{Inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,048	7,33	1,877	-	13,1	13,7	1,2
NNO	0,038	6,63	1,861	-	12,7	13,3	1,1
ONO	0,032	6,44	1,818	-	13,2	13,8	1,2
O	0,067	6,82	1,939	-	13,2	13,8	0,6
OSO	0,184	7,22	1,936	-	11,2	11,7	0,1
SSO	0,082	6,68	1,814	-	12,9	13,5	0,6
S	0,019	6,63	1,760	-	13,6	14,2	1,0
SSW	0,015	7,47	1,857	-	14,0	14,7	0,7
WSW	0,037	8,49	2,021	-	12,7	13,3	0,3
W	0,142	9,24	2,436	-	12,6	13,2	0,2
WNW	0,236	9,77	2,510	-	12,3	12,9	0,5
NNW	0,099	9,07	2,193	-	13,7	14,3	1,2
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,23**	**2,041**	**0,13**	**12,6**	**13,2**	**0,5**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,29**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,86 /21/**			

Tabelle 12: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 7

WEA 8	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	34,1	29,0	26,2	***24,5***	***23,3***	***22,4***	***21,4***	***20,1***	***18,8***
m = 8	33,6	28,5	25,7	***24,0***	***22,9***	***22,0***	***21,1***	***19,7***	***18,5***
m = 4	32,5	27,4	24,6	23,0	***21,8***	***21,1***	***20,2***	***19,0***	***17,9***
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	***17,7***	***16,9***	***16,2***	15,7	15,2	14,8	14,5	14,2	14,0
m = 8	***17,5***	***16,7***	16,1	15,5	15,1	14,7	14,4	14,1	13,9
m = 4	***17,0***	16,4	15,8	15,3	14,9	14,5	14,2	13,9	13,7

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,048	7,31	1,877	-	13,1	13,7	0,7
NNO	0,038	6,71	1,861	-	12,4	13,0	1,6
ONO	0,032	6,50	1,814	-	12,3	12,9	2,2
O	0,066	6,87	1,939	-	11,9	12,5	2,2
OSO	0,184	7,40	1,939	-	10,4	10,9	2,7
SSO	0,084	6,87	1,811	-	11,4	11,9	2,9
S	0,020	6,79	1,756	-	13,3	13,9	2,1
SSW	0,015	7,54	1,857	-	13,8	14,4	1,4
WSW	0,039	8,35	2,057	-	13,6	14,2	0,8
W	0,141	9,30	2,436	-	13,1	13,7	0,1
WNW	0,235	9,72	2,510	-	13,0	13,6	0,7
NNW	0,098	8,98	2,193	-	14,0	14,7	0,4
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,27**	**2,053**	**0,13**	**12,8**	**13,4**	**1,1**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,32**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,90 /21/**			

Tabelle 13: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 8

WEA 9	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	33,2	27,5	24,4	22,4	20,9	19,9	18,7	17,4	16,2
m = 8	33,0	27,3	24,0	21,9	20,4	19,3	18,2	16,9	15,9
m = 4	32,6	26,8	23,4	21,2	19,6	18,3	17,3	16,2	15,4
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	15,3	14,7	14,2	13,8	13,5	13,3	13,1	12,9	12,8
m = 8	15,1	14,5	14,1	13,7	13,4	13,2	13,0	12,8	12,7
m = 4	14,7	14,3	13,9	13,6	13,3	13,1	12,9	12,8	12,6

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,048	7,17	1,877	-	12,9	13,5	0,7
NNO	0,038	6,57	1,861	-	12,3	12,9	0,4
ONO	0,033	6,39	1,818	-	13,2	13,8	0,3
O	0,068	6,77	1,939	-	13,4	14,0	0,2
OSO	0,185	6,98	1,936	-	11,7	12,2	0,3
SSO	0,081	6,58	1,814	-	13,1	13,7	0,9
S	0,019	6,47	1,760	-	13,9	14,5	0,8
SSW	0,015	7,34	1,857	-	13,8	14,4	0,6
WSW	0,037	8,50	2,010	-	12,1	12,7	0,4
W	0,143	9,22	2,432	-	12,3	12,9	0,8
WNW	0,237	9,67	2,510	-	12,6	13,2	1,1
NNW	0,097	8,95	2,189	-	13,6	14,2	0,7
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,12**	**2,034**	**0,15**	**12,6**	**13,2**	**0,8**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,19**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,39 /21/**			

Tabelle 14: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 9

WEA 10	Ausgelegt nach der DIBt-Richtlinie 2012								
Windgeschwindigkeit [m/s]	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
Auslegungswert [%]	**36,6**	**30,1**	**26,2**	**23,6**	**21,7**	**20,3**	**19,2**	**18,3**	**17,6**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	33,5	28,3	25,5	***23,8***	***22,7***	***21,9***	***20,9***	***19,6***	***18,3***
m = 8	33,2	28,0	25,2	23,5	***22,3***	***21,5***	***20,6***	***19,2***	***18,0***
m = 4	32,5	27,2	24,3	22,6	21,4	***20,5***	***19,6***	***18,5***	17,4
Windgeschwindigkeit [m/s]	**12,0**	**13,0**	**14,0**	**15,0**	**16,0**	**17,0**	**18,0**	**19,0**	**≥20,0**
Auslegungswert [%]	**17,0**	**16,5**	**16,1**	**15,7**	**15,4**	**15,1**	**14,9**	**14,6**	**14,4**
Exponent der Wöhlerlinie	**Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA**								
m = 10	***17,2***	16,4	15,8	15,2	14,8	14,4	14,1	13,8	13,6
m = 8	***17,0***	16,3	15,7	15,1	14,7	14,4	14,1	13,8	13,6
m = 4	16,6	15,9	15,4	14,9	14,5	14,2	13,9	13,7	13,5

Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C_{CT} = 1,0)							
Richtungs-sektoren	**Relative Häufigkeit [-] (1 ≙ 100%) /21/**	**Weibullverteilung**		**α [-]**	**I_{char} [%]**	**I_{rep} [%]**	**$\varphi_{Inkl.}$ [°]**
		A [m/s] /21/	**k [-] /21/**				
N	0,048	7,27	1,881	-	12,9	13,5	0,3
NNO	0,038	6,59	1,861	-	12,0	12,6	1,4
ONO	0,032	6,42	1,818	-	13,1	13,7	1,6
O	0,067	6,84	1,939	-	13,0	13,6	1,5
OSO	0,185	7,23	1,936	-	10,8	11,3	0,8
SSO	0,082	6,76	1,814	-	11,4	11,9	0,5
S	0,019	6,64	1,756	-	13,5	14,1	0,2
SSW	0,015	7,41	1,857	-	14,0	14,7	0,4
WSW	0,039	8,35	2,049	-	13,4	14,0	1,0
W	0,143	9,16	2,439	-	13,0	13,6	0,7
WNW	0,236	9,77	2,510	-	13,1	13,7	0,1
NNW	0,097	8,94	2,189	-	13,9	14,5	0,3
Gesamt (alle Sektoren)	**1,000**	**8,20**	**2,046**	**0,14**	**12,9**	**13,5**	**0,5**
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_m [m/s]				**7,27**			
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v_{50} [m/s]				**31,53 /21/**			

Tabelle 15: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 10