

# TURBULENZABSCHÄTZUNG

für den Standort

IN

**D - 46325 BORKEN-MARBECK**

FÜR

**160,0 m und 166,6 m Nabenhöhe**

**AUFTRAGGEBER:** Windkraft Stadtlohn GmbH & Co.  
Marbecker Betriebs KG  
Timpenweide 2  
D- 48703 Stadtlohn

**AUFTRAGNEHMER:** Ingenieurbüro PLANKon  
Dipl. Ing. Roman Wagner vom Berg  
Blumenstr. 26  
26121 Oldenburg  
Tel.: 0441-390340

**BERICHTSNUMMER:** PK 2021041-UTA

Datum: 20.03.2023

---

## Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung .....	3
1	Standortbeschreibung und Windanströmung.....	3
2	Turbulenzintensität .....	4
3	Datengrundlagen.....	6
4	Abweichungen von der Akkreditierung .....	6
5	Ergebnisse.....	7
6	Literatur .....	11
7	Anlagen zur Turbulenzabschätzung Borken-Marbeck.....	11

---

## 0 Einleitung

In der vorliegenden Abschätzung wird der Standort Borken-Marbeck hinsichtlich der mittleren Turbulenzintensität am Standort unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren der Umgebung untersucht.

Mit der sogenannten „Windatlas-Methode“ können anhand gemessener Langzeitdaten der Windverhältnisse einer benachbarten meteorologischen Station die Einflussfaktoren zu den Windverhältnissen am geplanten Standort bestimmt werden. Hierbei werden die geländespezifischen Verhältnisse (Hindernisse, Rauigkeiten und Orographie) unter Hinzuziehung von genauem Kartenmaterial exakt ermittelt und berücksichtigt.

Der sogenannte Windatlas basiert auf den physikalischen Strömungsverhältnissen der atmosphärischen Grenzschicht. Mit der regionalen Windstatistik lässt sich nun das spezielle Windangebot, charakterisiert durch die richtungsabhängigen Weibull-Parameter, für jeden beliebigen Punkt und fast jede beliebige Höhe in dieser Region mit den topographischen Gegebenheiten des Mikrostandortes unter Hinzuziehung der dänischen Computerprogramme „Wind Atlas Analysis and Application Programme“ (WAsP (Vers. 10.2)) von Risö und „WindPRO“ (Vers. 3.1) von EMD berechnen.

Die hier vorgenommene Begutachtung erfolgt gemäß der Prozessbeschreibung zur Erstellung einer Abschätzung der Umgebungsturbulenz aus Rauigkeiten laut Anlage zur Akkreditierungsurkunde D-PL-11014-01-00.

## 1 Standortbeschreibung und Windanströmung

Für den Standort Borken-Marbeck ist die Aufstellung von insgesamt fünf Windenergieanlagen (WEA) geplant. Es handelt sich dabei um eine WEA des Typs Enercon E-138/EP3/E2 mit 160,0 m Nabenhöhe 138,0 m Rotordurchmesser und 4,2 MW Nennleistung, eine Enercon E-138/EP3/E3 mit 160,0 m Nabenhöhe 138,0 m Rotordurchmesser und 4,26 MW Nennleistung und drei Enercon E-160/EP5/E3 mit 166,6 m Nabenhöhe, 160,0 m Rotordurchmesser und 5,56 MW Nennleistung je WEA. Direkt am Standort werden bereits zehn WEA betrieben, von denen drei für ein sogenanntes Repowering zurückgebaut werden. Zudem wird eine genehmigte WEA in Fremdplanung berücksichtigt.

Der Standort befindet sich im westlichen Münsterland, ca. 2,7 km südlich des Dorfes Marbeck, Ortsteil der Stadt Borken im gleichnamigen Kreis (NRW).

Die Struktur des Standortes ist geprägt von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Nahbereiche um die Flächen werden überwiegend von kleineren Waldflächen bzw. Baumgruppen umgeben, sowie Ansiedlungen und Bauerschaften.

Im weiteren Umland finden sich als größere Städte Borken, ca. 7 km nordwestlich vom Standort entfernt und Wulfen, ca. 11 km südöstlich vom Standort gelegen.

Südlich der Stadt Borken und somit im westlichen Fernbereich des geplanten Standortes dominiert die Parklandschaft des Münsterlandes mit seiner vielfältigen Mischung aus Wiesen, Weiden, Äckern, Mooren und vereinzelt Waldstücken, während der übrige Fernbereich dem Naturpark Hohe Mark zuzuordnen ist.

Aus nordwestlicher Richtung erstreckt sich die sogenannte Waldlandschaft des Naturparks – ein zerfurchter Bereich mit dem Waldgebirge Hohe Mark (ca. 150 m ü. NN und ca. 12 km südöstliche Standortentfernung), sowie deren Teil-Höhenzügen Rekener Berge (ca. 130 ü. NN und ca. 4 km nordöstlich vom Standort entfernt) und Die Berge (ca. 110 m ü. NN und ca. 9 km nordwestlich vom Standort gelegen) im Untersuchungsgebiet.

Die untersuchten WEA befinden sich im Bereich der südlichen Ausläufer der Rekener Berge auf Höhen von 62 bis 68 m ü. NN. Der westliche Fernbereich zeichnet sich durch ein flachwelliges Relief mit Geländehöhen von durchschnittlich 50 m ü. NN aus.

Die Koordinaten der vorhandenen und geplanten WEA wurden den Angaben des Auftraggebers entnommen. Weitere Angaben sind PLANKon nicht bekannt und es wurden auch keine weiteren Recherchen von Seiten des AG beauftragt.

Im Rahmen der Erstellung des Wind- und Ertragsgutachtens /4/ zum Standort wurde am 17.01.2023 von Herrn Dipl.-Ing. Roman Wagner vom Berg eine Ortsbegehung durchgeführt. Es wurden Rundumaufnahmen des Standortes und der näheren Umgebung erstellt sowie Hindernisse im Umkreis von 1.000 m kartiert und bewertet. Diese Parameter wurden in den Berechnungen berücksichtigt.

## 2 Turbulenzintensität

Die Turbulenzintensität  $T_u$  wird zur Beschreibung des turbulenten Anteils der Luftströmung bestimmt. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis der Standardabweichung  $S_u$

der turbulenten Fluktuationen des Windes zum Mittelwert  $V_m$  der Windgeschwindigkeit. Die genaue Angabe einer Turbulenzintensität lässt sich nur durch Windmessungen am Standort selbst ermitteln. Sie hängt stark von den Umgebungsbedingungen wie Oberflächenrauigkeit, Höhenprofil, Hindernissen und der Höhe über Grund ab. Im nicht gegliederten Gelände (relativ flaches bzw. leicht hügeliges Terrain) lässt sich die Turbulenzintensität gem. den „Guidelines for Design of Wind Turbines“ (DNV/Risø, Second edition, Risø National Laboratory) angegebene Beziehung wie folgt abschätzen:

$$T_u = S_u/V_m = A_x \times k \times 1/\ln(h/z_0)$$

- A<sub>x</sub>** variabler Berechnungsparameter, kann Werte zwischen 1,8 und 2,5 annehmen,  
Hier gewählt: **2,0 (160 m NH) und 1,95 (166,6 m NH)**
- k** Karman Konstante (=0,4)
- ln** natürlicher Logarithmus
- h** Höhe über Grund in m
- z<sub>0</sub>** Rauigkeitslänge in m

In den Lastannahmen zu Typenstatiken für Windkraftanlagen wird meist eine zulässige und in der Annahme hohe Turbulenzintensität von 18 % bei einer Referenzwindgeschwindigkeit von 15 m/s festgelegt. Diese Turbulenzintensität wird an diesem Standort durch die umgebenden Anströmungsstörungen nicht erreicht. Zur Untersuchung von Abständen von WEA untereinander muss jedoch auch die Nachlaufströmung der WEA berücksichtigt werden.

Die Jahresmittelwindgeschwindigkeit an diesem Standort beträgt gem. Gutachten PLANKon /4/ 7,05 m/s in 160,0 m und 7,14 m/s in 166,6 m Höhe.

Der Standort liegt gem. DIN 1055, *Lastannahmen*, und DIN 4133, *Schornsteine aus Stahl*, in der Windzone II.

Die Hauptwindrichtungen gem. den Aussagen der durchgeführten Windfeldanalyse für den untersuchten Standort sind Westsüdwest und Südsüdwest. Es sind die Windrichtungen mit dem größten Windaufkommen an dem Standort. Alle anderen Windrichtungen sind als Nebenwindrichtungen zu betrachten.

---

### 3 Datengrundlagen

<b>Berechnungshöhen:</b>	160,0 m und 166,6 m Nabenhöhe (NH)
<b>Koordinate Berechnung:</b>	RW: 356.175, HW: 5.740.142 (ETRS89, Zone 32)
<b>Kartenmaterial:</b>	Topographische Karten 1 : 25.000 und 1 : 50.000
<b>Rauigkeit:</b>	Radius von 10 km berücksichtigt
<b>Orographie:</b>	Radius von 10 km berücksichtigt
<b>Wetterstation:</b>	angepasster lokaler Mesoskalendatensatz (WRF/Era5) Knotenpunkt N51.795790_006.973938 Quelle: EMD

Die Daten wurden wie in Kap. 0 beschrieben mit den Programmen WindPRO (Vers. 3.1) und WAsP (Vers. 10.2) verarbeitet, um eine Windfeldanalyse durchzuführen. Die Rauigkeiten wurden sektorenweise direkt mit dem Programm WAsP (Vers. 10.2) ermittelt.

### 4 Abweichungen von der Akkreditierung

Im Gutachten und bei der Erstellung des Gutachtens sind folgende Abweichungen zur Akkreditierung zu vermerken:

Abweichung gegenüber /1/ /2/ und den Anforderungen der Mindeststandards für Turbulenzgutachten

Keine.

Abweichung gegenüber eigenen Festlegungen / Akkreditierungsanforderungen

Keine.

## 5 Ergebnisse

Für den Standort Borken-Marbeck sind für die Turbulenzabschätzung die Rauigkeiten und die Windverhältnisse in Höhen von 160,0 m und 166,6 m über Grund berechnet worden. Die Windverhältnisse und der Verlauf der Windprofile werden maßgeblich durch die Hindernisse und die Rauigkeit bestimmt. Zur Bestimmung der Turbulenzen wurden die Rauigkeitswerte ermittelt.

Mit der für diese Abschätzung generierten Windstatistik aus Mesoskalendaten sowie den zuvor erläuterten Eingabeparametern für Rauigkeiten und Hindernisse wurden die über das Jahr gemittelten Windanströmungen berechnet. Die Verteilungen der Weibull-Parameter A und k und die zugehörigen mittleren Windgeschwindigkeiten für die Mikrostandorte sind den folgenden Tabellen zu entnehmen:

### Windverteilung am Standort in 160,0 m Nabenhöhe (NH)

Sektor	A-Parameter	Wind- geschwindigkeit	k-Parameter	Häufigkeit
	[m/s]	[m/s]		[%]
N	5,77	5,11	2,076	4,2
NNO	6,37	5,64	2,213	4,7
ONO	7,12	6,31	2,482	6,4
O	7,99	7,09	2,518	7,8
OSO	6,78	6,01	2,264	4,9
SSO	6,35	5,62	2,162	5,0
S	8,38	7,45	2,662	9,1
SSW	9,49	8,45	2,771	15,9
WSW	9,09	8,08	2,611	17,9
W	8,01	7,09	2,287	11,4
WNW	7,17	6,35	2,264	7,3
NNW	6,26	5,54	2,307	5,4
<b>Mittel/Summe</b>	<b>7,96</b>	<b>7,05</b>	<b>2,318</b>	<b>100,0</b>

### Windverteilung am Standort in 166,6 m Nabenhöhe (NH)

Sektor	A-Parameter	Wind- geschwindigkeit	k-Parameter	Häufigkeit
	[m/s]	[m/s]		[%]
N	5,84	5,17	2,072	4,2
NNO	6,45	5,71	2,209	4,7
ONO	7,20	6,38	2,475	6,4
O	8,09	7,18	2,514	7,8
OSO	6,86	6,07	2,256	4,9
SSO	6,43	5,70	2,158	5,0
S	8,47	7,53	2,658	9,1
SSW	9,60	8,55	2,768	15,8
WSW	9,20	8,17	2,607	17,9
W	8,10	7,18	2,283	11,4
WNW	7,26	6,43	2,260	7,3
NNW	6,33	5,61	2,303	5,4
<b>Mittel/Summe</b>	<b>8,05</b>	<b>7,14</b>	<b>2,314</b>	<b>100,0</b>

Die Jahresmittelwindgeschwindigkeit an diesem Standort beträgt gem. Gutachten PLANKon /4/ 7,05 m/s in 160,0 m und 7,14 m/s in 166,6 m Höhe. Die Ergebnisse der Windfeldberechnung sind die Eingangswerte der Turbulenzabschätzung.

Die Hauptwindrichtungen gem. den Ergebnissen der durchgeführten Windfeldanalyse für den untersuchten Standort sind Westsüdwest und Südsüdwest. Es sind die Windrichtungen mit dem größten Windaufkommen an dem Standort.

Zur Begutachtung des Standortes wurde eine Ortsbegehung durchgeführt.

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse der mittleren Turbulenzintensitäten für jeden der zwölf Sektoren dargestellt. In der dritten Spalte wird die berechnete Turbulenzintensität wiedergegeben. In der vierten Spalte ist die repräsentative /2/ Turbulenzintensität unter Berücksichtigung einer möglichen Abweichung von 20 % zzgl. einer Erhöhung zur Berücksichtigung der 95%igen Eintrittswahrscheinlichkeit (Faktor  $1,28 \cdot 20\%$ ) berechnet. Hiermit wird der Forderung des Ansatzes der 1,28-fachen Standardabweichung der Turbulenzintensität nach /2/ erfüllt. Die Mittelwerte wurden unter Berücksichtigung der Häufigkeiten berechnet.

In der fünften Spalte werden die ermittelten Häufigkeiten am Micro-Standort der Berechnung Borken-Marbeck aus den obigen Tabellen übernommen.

### Turbulenzintensitäten in 160,0 m Nabenhöhe (NH)

Sektor	Berechnungshöhe	Umgebungsturbulenz	repräsentative Umgebungsturbulenz	Häufigkeit
	[m]	[%]	[%]	[%]
N	160,0	10,9	13,7	4,2
NNO	160,0	11,0	13,8	4,7
ONO	160,0	10,9	13,7	6,4
O	160,0	11,1	13,9	7,8
OSO	160,0	11,4	14,3	4,9
SSO	160,0	11,3	14,2	5,0
S	160,0	11,2	14,1	9,1
SSW	160,0	10,8	13,6	15,9
WSW	160,0	10,8	13,6	17,9
W	160,0	10,4	13,0	11,4
WNW	160,0	10,4	13,1	7,3
NNW	160,0	11,1	13,9	5,4
<b>Mittel/Summe</b>		10,9	13,7	<b>100,0</b>

### Turbulenzintensitäten in 166,6 m Nabenhöhe (NH)

Sektor	Berechnungshöhe	Umgebungsturbulenz	repräsentative Umgebungsturbulenz	Häufigkeit
	[m]	[%]	[%]	[%]
N	166,6	10,6	13,3	4,2
NNO	166,6	10,6	13,4	4,7
ONO	166,6	10,6	13,3	6,4
O	166,6	10,8	13,5	7,8
OSO	166,6	11,1	13,9	4,9
SSO	166,6	11,0	13,8	5,0
S	166,6	10,9	13,7	9,1
SSW	166,6	10,5	13,2	15,8
WSW	166,6	10,5	13,2	17,9
W	166,6	10,1	12,6	11,4
WNW	166,6	10,1	12,7	7,3
NNW	166,6	10,8	13,5	5,4
<b>Mittel/Summe</b>		10,5	13,2	<b>100,0</b>

Bezüglich der ermittelten Rauigkeit ist zu beachten, dass diese gem. der vorliegenden Geländehöhen ermittelt wurde und die Veränderung des Einflusses auf die Turbulenz über die Höhe berücksichtigt wurde. Die ermittelte Rauigkeit entspricht einer typischen Rauigkeit für das vorliegende Gelände. Vergleiche mit tatsächlichen Betriebsdaten bestätigen dies.

Die vorliegende Abschätzung der mittleren Umgebungsturbulenzintensität für den Standort Borken-Marbeck ist nur für die natürliche Umgebung des untersuchten Standortes gültig. Sie stellt nicht die Veränderungen der Turbulenzintensität, die durch das Aufstellen von WEA verursacht wird, dar. Diese Veränderungen sind bei Bedarf gesondert zu untersuchen.

Eine Gewähr für die sich tatsächlich einstellenden Turbulenzen kann aufgrund der komplexen physikalischen Zusammenhänge nicht übernommen werden. Zur Bestimmung der Turbulenzintensität wird die ermittelte Umgebungsturbulenzintensität infolge möglicher Unsicherheiten und zur Berücksichtigung der bei Messungen ermittelbaren Standardabweichungen um den Ansatz  $I\sigma = 20\%$  erhöht. Für die Berechnung der repräsentativen Turbulenz wurde die Umgebungsturbulenz um die 1,28-fache Standardabweichung  $I\sigma$  (Ansatz  $I\sigma = 20\%$ ) erhöht. Hiermit wird die Forderung des Ansatzes der 1,28-fachen Standardabweichung der Turbulenzintensität nach /2/ erfüllt.

Die vorliegende Berechnung wurde von Ing.-Büro PLANKon gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt.

Oldenburg, den 20.03.2023

Erstellt durch:

The image shows a handwritten signature in black ink that reads "R. Wagner vom Berg". The signature is written over a blue circular professional seal. The seal contains the text "MITGLIED DER NESH 4304", "INGENIEUR", "Dipl.-Ing. (FH)", and "ROMAN WAGNER VOM BERG". There is also a small logo of a horse and rider in the center of the seal.

Dipl.-Ing. Roman Wagner vom Berg  
(Technischer Leiter)

## 6 Literatur

- /1/ Richtlinie des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) „Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“ Fassung März 2004; DIBt, Berlin
- /2/ Richtlinie des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) „Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“ Fassung Oktober 2012; 2. Auflage 2012; DIBt, Berlin
- /3/ Technische Richtlinie Teil 6 (TR 6) „Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen“ der Fördergesellschaft für Windenergie, Revision 11 vom 21.09.2020
- /4/ PLANKon, Windgutachten gem. TR 6 (Rev. 11) am Standort Borken-Marbeck, Bericht Nr. PK 2021041-EGW-A vom 27.01.2023

## 7 Anlagen zur Turbulenzabschätzung Borken-Marbeck

1 Blatt Übersichtskarte mit Markierung des Standortes

