Ergebnisübersicht
Windpark Quenstedt, Rev. ER3.1

Windparkkonfiguration

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die Bezeichnung der einzelnen Windenergieanlagen (WEA) in dieser Ergebnisübersicht bezieht sich auf die laufende Nummer, die aus Tabelle 1 ersichtlich ist.

lfd. WEA-Nr.		WEA-Bezeichnung	Koordinaten [m]		WEA-Typ	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
			Rechtswert	Hochwert				
	1	BEST_01	670196	5733570	Vestas V47	0,66	47,00	65,0
	2	BEST_02	670107	5733327	Vestas V47	0,66	47,00	65,0
	3	BEST_03	670230	5733016	Vestas V47	0,66	47,00	65,0
	4	BEST_04	670487	5732899	Vestas V47	0,66	47,00	65,0
	5	BEST_05	669769	5732999	ENERCON E-101	3,05	101,00	149,0
	6	BEST_06	669714	5732658	ENERCON E-92	2,35	92,00	138,4
	7	BEST_07	670046	5732791	ENERCON E-92	2,35	92,00	138,4
	8	BEST_08	669963	5732164	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	9	BEST_09	670393	5732294	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	10	BEST_10	670740	5732453	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	11	BEST_11	669814	5731841	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	12	BEST_12	670242	5731993	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	13	BEST_13	670589	5731964	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	14	BEST_14	669818	5731543	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	15	BEST_15	670365	5731657	GE Energy 1.5s	1,50	70,50	85,0
	16	BEST_16	670784	5731673	ENERCON E-66/20.70	2,00	70,40	86,0

lfd. WEA-Nr.		WEA-Bezeich-nung	Koordinaten [m]		WEA-Typ	P_{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
			Rechts-wert	Hoch-wert				
	17	BEST_17	669698	5732259	ENERCON E-66/20.70	2,00	70,40	86,0
	18	BEST_18	669942	5732512	ENERCON E-66/20.70	2,00	70,40	86,0
	19	WEA 01	669249	5732318	Nordex N149/4.5	4,50	149,10	164,0
	20	WEA 02	669251	5731974	Nordex N149/4.5	4,50	149,10	125,0
	21	SAB	670351	5732539	ENERCON E-138 EP3 E2 (OM0s)	4,20	138,25	160,0

Tabelle 1: Windparkkonfiguration (Koordinatensystem: UTM ETRS89, Zone 32)

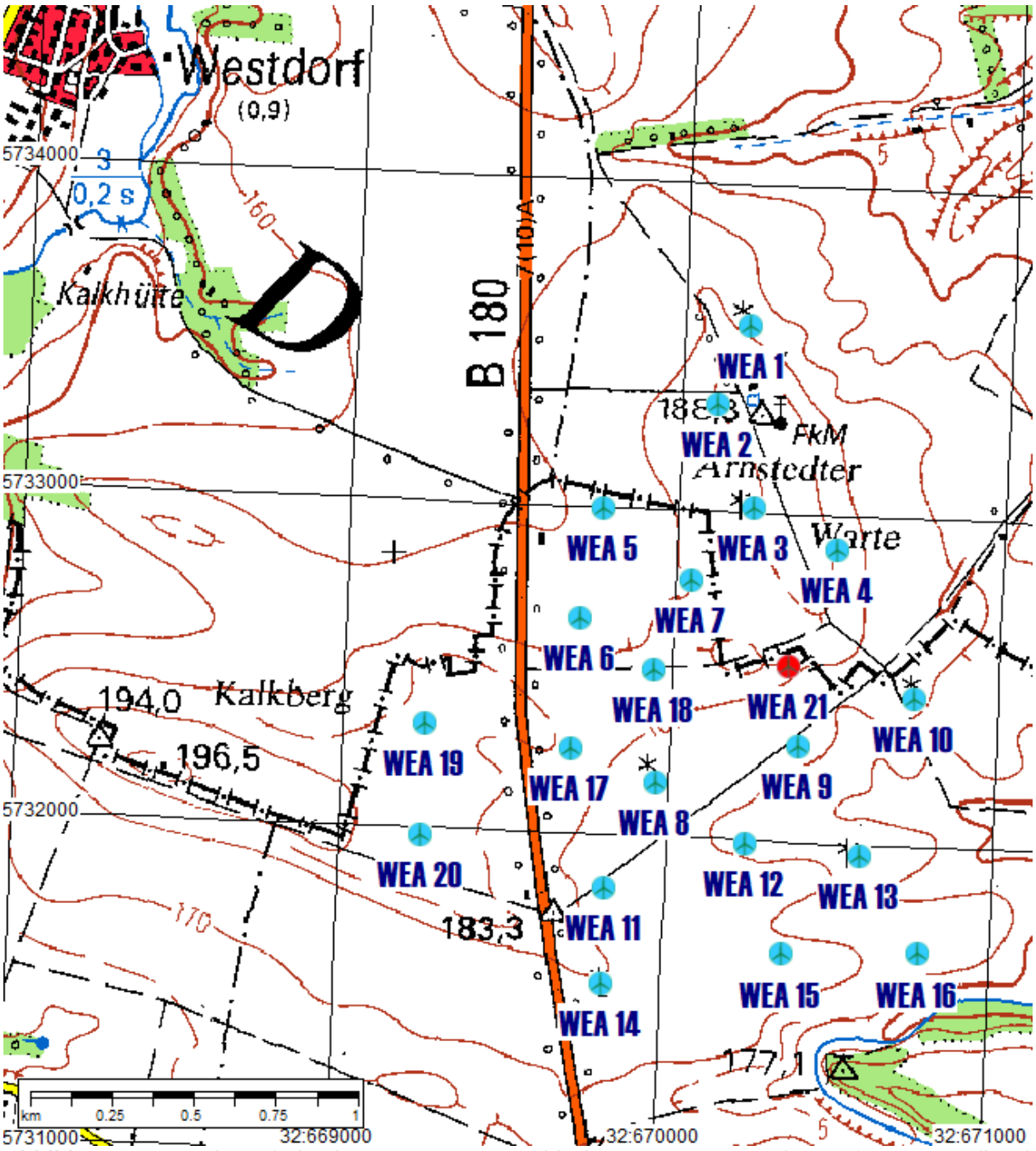

Abbildung 1: Lage des Windparks, Auszug topographische Karte 1:50.000 (vergrößerte Darstellung) /3/

Effektive Turbulenzintensität

Für die WEA, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2012 zu Grunde gelegt wird, sind die windgeschwindigkeitsabhängigen Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität in Tabelle 2 maßgeblich für eine Bewertung der Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität. Der Vergleich der Ergebnisse muss dabei mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität erfolgen, die bei

der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde zu legen sind (siehe ggf. farbliche Markierung in Tabelle 2). Weiterhin sind ggf. in Tabelle 2 WEA, für die ein von m = 10 abweichender materialspezifischer Exponent zu Grunde gelegt wird, entsprechend markiert ($^{m = x}$).

Für die WEA, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinien 2004 oder 1995 (1993) zu Grunde gelegt wird, sind gemäß der DIBt-Richtlinie von 2012 die windgeschwindigkeitsabhängigen Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität nach der DIBt-Richtlinie von 2004 in Tabelle 3 maßgeblich für eine Bewertung der Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität.

Der Nachlauf direkt hinter einer WEA wird hauptsächlich durch die Geometrie des Rotorblattes, den Rotordurchmesser sowie durch die windgeschwindigkeitsabhängigen Schubbeiwerte der jeweiligen WEA bestimmt. Da unter anderem die exakte Geometrie des Rotorblattes nicht in die Berechnungen einfließt, und insgesamt rein theoretische Modellannahmen getroffen werden müssen /2/, können nach unseren Erfahrungen die zur Anwendung kommenden Berechnungsmodelle bei WEA-Abständen unterhalb von etwa 2,5D nur begrenzt belastbare Ergebnisse an den der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung ausgesetzten benachbarten WEA liefern. Im Rahmen von Einzelfallprüfungen wird von uns auf Basis entsprechender Kriterien entschieden, ob im Rahmen der nachfolgenden Auswertung belastbare Aussagen zur Standorteignung 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 den Tabellen 2 und 3 entsprechend markiert (*). Die mit (*) markierten Werte empfehlen wir nicht als Eingangsgröße im Rahmen eines standortspezifischen Lastvergleiches.

Werden Abstände von ca. 2,0D zwischen zwei WEA unterschritten, so stellen sich nach unseren Erfahrungen die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität als signifikant unplausibel dar. In solchen Fällen werden die Ergebnisse in den Tabellen 2 und 3 nicht ausgewiesen und entsprechend mit (-**) dargestellt.

Im Falle von Überschreitungen der Auslegungswerte der effektiven Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde zu legen sind, sind diese in den Tabellen 2 und 3 jeweils fett und kursiv gedruckt.

Es werden alle WEA mit einem auf den jeweils größeren Rotordurchmesser D bezogenen dimensionslosen Abstand s_i von kleiner 8D zu der neu geplanten WEA in die nachfolgenden Betrachtungen einbezogen. In die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität gehen alle WEA aus Tabelle 1 ein. Der Abstand der WEA 14 und 20 zu der neu geplanten WEA 21 ist größer acht Rotordurchmesser. Demzufolge erfolgt für diese WEA keine Bewertung der Standorteignung.

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 /2/ (Kurve A)		**29,9**	**24,8**	**22,0**	**20,1**	**18,9**	**18,0**	**17,3**	**16,7**
Auslegungswert [%] Nordex N149/4.5		**28,0**	**24,4**	**21,5**	**19,1**	**17,3**	**15,8**	**14,5**	**13,4**
lfd. WEA-Nr.		**Ergebnisse [%] auf NH der WEA**							
vor dem Zubau der WEA 21									
	19 (m = 14)	27,4	***26,1***	***25,3***	***23,1***	***20,0***	***17,6***	14,4	12,4
nach dem Zubau der WEA 21									
	19 (m = 14)	27,4	***26,1***	***25,3***	***23,1***	***20,0***	***17,6***	14,4	12,4
	21	25,6	23,1	21,2	20,0	18,6	16,1	13,9	13,0

Tabelle 2: Ergebnisse für die effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe (DIBt 2012)

DIBt-Richtlinie		DIBt 2004							
Windgeschwindigkeit [m/s]		**4-6**	**6-8**	**8-10**	**10-12**	**12-14**	**14-16**	**16-18**	**18-20**
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 2 /1/ (Kurve A)		**30,0**	**24,9**	**22,0**	**20,2**	**18,9**	**18,0**	**17,3**	**16,7**
lfd. WEA-Nr.		**Ergebnisse [%] auf NH der WEA**							
vor dem Zubau der WEA 21									
	1	21,1	18,4	17,0	15,6	13,9	12,7	11,9	11,4
	2	22,3	19,6	18,3	15,7	14,2	12,9	12,2	11,7
	3	24,0	22,1	21,0	18,0	16,1	14,3	13,3	12,5
	4	22,0	19,2	17,8	16,0	14,7	13,6	12,8	12,3
	5	22,1	20,4	19,2	17,7	15,6	13,1	11,7	10,9
	6	23,7	21,2	19,6	18,0	15,8	13,9	12,6	11,8
	7	23,3	21,4	20,4	19,9	18,0	16,5	15,0	13,5
	8	23,8	20,9	19,6	18,4	17,0	15,0	13,8	12,9
	9	23,4	20,4	19,0	17,8	15,6	14,0	13,0	12,2
	10	21,4	18,6	17,6	16,8	14,9	13,6	12,7	12,1
	11	24,0	21,1	19,6	17,5	14,7	13,2	12,4	11,7

DIBt-Richtlinie		DIBt 2004							
Windgeschwindigkeit [m/s]		4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 2 /1/ (Kurve A)		30,0	24,9	22,0	20,2	18,9	18,0	17,3	16,7
lfd. WEA-Nr.		Ergebnisse [%] auf NH der WEA							
	12	23,7	20,5	19,0	17,7	15,3	13,9	12,9	12,3
	13	23,0	20,1	18,7	17,7	15,5	14,0	13,1	12,3
	15	21,9	18,6	17,0	15,8	14,0	12,7	12,0	11,5
	16	21,9	18,5	17,1	16,2	14,3	13,0	12,2	11,7
	17	25,1	22,5	21,0	18,3	16,3	14,9	13,9	13,1
	18	25,2	22,6	20,9	19,1	17,1	15,2	13,8	12,9
nach dem Zubau der WEA 21									
	1	21,3	18,5	17,1	15,6	13,9	12,7	11,9	11,4
	2	22,5	19,8	18,3	15,7	14,2	12,9	12,2	11,7
	3	24,9	22,6	21,1	18,0	16,1	14,3	13,3	12,5
	4	24,9	22,6	20,2	18,0	15,7	14,4	13,2	12,4
	5	22,2	20,4	19,3	17,7	15,6	13,1	11,7	10,9
	6	23,8	21,3	19,7	18,1	15,9	14,0	12,6	11,8
	7	24,4	22,3	20,9	20,0	18,0	16,5	15,0	13,5
	8	24,1	21,2	19,7	18,5	17,0	15,0	13,8	12,9
	9	-**	-**	-**	-**	-**	-**	-**	-**
	10	23,7	21,3	19,9	18,5	16,1	14,7	13,5	12,8
	11	24,0	21,2	19,6	17,5	14,7	13,2	12,4	11,7
	12	24,0	20,6	19,0	17,7	15,3	13,9	12,9	12,3
	13	23,4	20,3	18,9	17,8	15,5	14,1	13,1	12,3
	15	22,0	18,6	17,0	15,8	14,0	12,7	12,0	11,5
	16	22,0	18,6	17,2	16,2	14,3	13,0	12,2	11,7
	17	25,2	22,6	21,0	18,4	16,4	14,9	13,9	13,1
	18	25,9	23,3	21,4	19,4	17,2	15,3	13,8	12,9

Tabelle 3: Ergebnisse für die effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe (DIBt 2004)

Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit und der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe

Der Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit dem entsprechenden Auslegungswert der WEA gemäß Typenprüfung erfolgt nur für geplante WEA und zunächst durch einen Vergleich der Windzone des Standortes gemäß Windzonenkarte. Wird die Windzone des Standortes nicht abgedeckt oder ist diese gesondert als S-Klasse angegeben, so wird die 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe direkt bestimmt und mit dem Auslegungswert gemäß Typenprüfung verglichen.

Je nach Belastbarkeit der vorliegenden Winddaten erfolgt der Vergleich der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit mit dem entsprechenden Auslegungswert der WEA gemäß Typenprüfung entweder direkt mit den vorliegenden Winddaten oder der Vergleich erfolgt mit einem tendenziell konservativeren Verfahren. Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe der WEA muss um mindestens 5% kleiner als der Auslegungswert der zu Grunde gelegten Typenprüfung sein. Für mittlere Formparameter der Weibullverteilung k > 2 ist hingegen auch eine größere mittlere Jahreswindgeschwindigkeit erlaubt, wenn diese noch unterhalb dem Auslegungswert der zu Grunde gelegten Typenprüfung liegt.

Eine Standortbesichtigung hat zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht stattgefunden. Die zur Bestimmung der 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe erforderliche Geländekategorie wird von uns anhand von Luftbildaufnahmen in Kategorie II eingestuft. Weiterhin wird angenommen, dass in der unmittelbaren Umgebung des Standortes keine ausgeprägten Hindernisse vorhanden sind.

Im Falle von Überschreitungen der Auslegungswerte der Windzone bzw. der 50-Jahreswindgeschwindigkeit oder der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde zu legen sind, sind diese in Tabelle 4 jeweils fett und kursiv gedruckt.

lfd. WEA-Nr.		Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit (v_{50})				Vergleich der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit (v_m)		
		Windzone (WZ)		v_{50} [m/s]		v_m [m/s]		k [-]
		Auslegung	Standort	Auslegung	Standort	Auslegung	Standort	Standort
	19	S	2	40,3	-	7,20	***7,75***	2,06
	21	2	2	39,0	39,0	7,71	7,68	2,06

Tabelle 4: Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit und der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit den entsprechenden Auslegungswerten gemäß Typenprüfung

Sektorielle Betriebsbeschränkungen:

Für die geplante Windparkkonfiguration (siehe Tabelle 1) wurden zusätzliche Berechnungen unter Berücksichtigung sektorieller Abschaltregelungen durchgeführt.

Betriebs-beschränkte WEA	Benach-barte WEA	Sektor der Betriebsbeschränkung (0° ≙ geografisch Nord)	Windge-schwindig-keitsbereich [m/s]	Art der sektoriel-len Betriebs-beschränkung
WEA 21	WEA 9	352,2° ± 26,6° (325,6° - 18,8°)	gesamt	Abschaltung

Tabelle 5: Sektorielle Betriebsbeschränkung

Die in Tabelle 5 dargestellte sektorielle Betriebsbeschränkung gilt als Mindestanforderung. Von uns wurde keine Prüfung hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit vorgenommen.

Literatur- und Quellenangaben

/1/ 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

/2/ 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

/3/ TOP50, Amtliche topographische Karten, Landesvermessungsämter der Bundesländer, (der Aktualisierungsstand der digitalen Daten entspricht dem der analogen Karten; der Aktualisierungszyklus beträgt 5 Jahre); 2003/2004