

Standorteignung von Wind- energieanlagen

Nachweis nach DIBt 2012 für den Windpark
Schwaney (Nordrhein-Westfalen)

WKA Austertal GbR



November 2023

Standorteignung von Windenergieanlagen

Nachweis nach DIBt 2012 für den Windpark
Schwaney (Nordrhein-Westfalen)

Berichtsnummer: G231129PB1a

Aufgestellt: Gevensleben, im November 2023

Auftragnehmer

SOWIWAS - Energie GmbH
Watenstedter Straße 11
38384 Gevensleben

Tel.: 0 53 54 / 99 06 - 235

Fax: 0 53 54 / 99 06 - 219

E-mail gutachten@sowiwas.de

Internet www.sowiwas.de

Auftraggeber

WKA Austertal GbR

Pfarrer Schlottmann Straße 18
D- 33184 Altenbeken

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	EINLEITUNG	6
3	DER STANDORT	7
4	BESTIMMUNG DER STANDORTEIGNUNG	11
4.1	KOMPLEXITÄT DES GELÄNDES	11
4.2	WINDVERHÄLTNISSE	12
4.3	TURBULENZ	13
4.4	UMGEBUNGSTURBULENZ	14
4.5	EFFEKTIVE TURBULENZ	14
5	ERGEBNISSE DER STANDORTBERECHNUNG	16
5.1	PARKLAYOUT	16
5.2	WINDVERHÄLTNISSE	18
5.2.1	PLAUSIBILISIERUNG	19
5.3	UMGEBUNGSTURBULENZ	19
5.4	EFFEKTIVE TURBULENZ	19
5.5	WEITERE PARAMETER ZUR STANDORTEIGNUNG FÜR DIE GEPLANTEN WEA	27
	LITERATURVERZEICHNIS	29

ANHANG

ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN TURBULENZ:

Effektive Turbulenz für $m=10$

Site compliance - Annahmen

Leistungskennlinien

1 Zusammenfassung

Die Standorteignung von Windenergieanlagen im Windpark Schwaney durch den Neubau von 3 Anlagen vom Typ Vestas V162 und Vestas V150 wurde nach den Vorschriften der DIBt 2012, bzw. IEC 61400-1 ed.3 (2010) bestimmt.

Für alle Anlagen wurde die geltenden Norm DIBt 2012 bzgl. des Turbulenzeinflusses angewendet.

Die Windverhältnisse (Weibull-Parameter, Richtungshäufigkeit in 12 Windrichtungssektoren) an den betrachteten Standorten wurden mit Hilfe des Programms WASP (Version 11.1) berechnet. Grundlage waren Ertragsdaten bestehender Anlagen innerhalb der Windparkfläche. Die Dateneingabe erfolgte über die Software WINDPRO in der Version 3.6.

Eine Verifizierung der Windverhältnisse erfolgte durch Vergleich der mehrjährigen Erträge von bestehenden WEA im Windpark mit einer Ertragsberechnung.

Der Standort ist orografisch als nicht komplex einzustufen. Die Umgebungsturbulenz ist niedrig aufgrund des offenen Geländes.

15 weitere bestehende Anlagenstandorte im Abstand von 8 D (D: Rotor-durchmesser) um die neuen WEA wurden dabei berücksichtigt.

Aus der errechneten Gesamtturbulenz (Summe aus Umgebungsturbulenz und Nachlauf-turbulenz) an jedem Anlagenstandort wurden durch Vergleich mit den Vorgaben nach DIBt (1995, 2004, 2012, [1], [2], [3]) Aussagen zur Standorteignung bzgl. der Turbulenzsituation getroffen. Die Berechnungen erfolgten für einen Wöhlerkoeffizienten von $m=10$.

Bei einer der geplanten WEA (P25) werden die Richtwerte eingehalten. Die Standorteignung der geplanten WEA ist damit nachgewiesen. Bei zwei WEA (P20, P44) werden die Turbulenzgrenzwerte überschritten, verursacht durch eine benachbarte Bestandsanlage, bzw. eine Fremdplanung.

Von den Bestandsanlagen erhöht sich die Turbulenz deutlich bei der WEA B9 (E-147) durch den Zubau der WEA P20. Eine geringe Erhöhung der Turbulenzintensität stellt sich bei WEA B8 und B47 ein, verursacht durch die östlich geplante WEA P25. Bei den anderen Bestandsanlagen werden die Turbulenzwerte nicht oder nicht signifikant erhöht. Von den Fremdplanungen (Planungen Dritter) werden die Turbulenzwerte bei 2 WEA (WEA B82, B87) erhöht.

Für die geplanten WEA P20 und P44 oder alternativ die Bestands- und fremdgeplanten WEA ist daher ein Sektormanagement erforderlich, bzw. es muss ggf. eine Lastrechnung mit den errechneten Turbulenzwerten durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst alle Betriebsbeschränkungen zusammen:

Tabelle 1: Zusammenfassung der Betriebsbeschränkungen durch Sektormanagement (Nummerierung siehe Tab. 1a). Nr.1-3 sind die geplanten WEA. Nr.15,16 sind Fremdplanung.

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.17	Nr. 1	Abschaltung	7,5-25,0 m/s	253-285
Nr.16	Nr. 3	Abschaltung	7,5-25,0 m/s	252-287
Nr.2	Nr. 8	Abschaltung	9,5-12,0 m/s	72-105
Nr.2	Nr. 14	Abschaltung	9,3-12,0 m/s	100-124
Nr.2	Nr. 15	Abschaltung	8,0-14,8 m/s	224-250
Nr.3	Nr. 16	Abschaltung	7,5-25,0 m/s	74-107
Nr.1	Nr. 17	Abschaltung	7,5-25,0 m/s	73-105

Detaillierte Ergebnisse werden in Kap.5 dargestellt.

2 Einleitung

Nordwestlich der Ortschaft Schwaney (Landkreis Paderborn, Nordrhein-Westfalen) sind innerhalb einer bestehenden Windparkfläche, 3 Anlagen der Typen V150 (2x) und V162 (1x) in Planung.

Zur Bestimmung der Standorteignung für die geplanten Anlagen und den Nachweis der Standsicherheit ist u.a. die Kenntnis der Umgebungsturbulenz (ohne Einfluss von Windenergieanlagen) und der Nachlaufturbulenz (verursacht durch die Nachlaufströmung) notwendig (siehe DIBt Richtlinie 2012, Deutsches Institut für Bautechnik, Kap.16 Standorteignung von Windenergieanlagen[1]). Bei Aufstellung in einem bestehenden Windpark muss der zusätzliche Einfluss auf die benachbarten Windkraftanlagen berücksichtigt werden.

Der Nachweis erfolgt durch Vergleich der Windbedingungen am Standort der WEA mit den in der Typen- oder Einzelprüfung zugrunde gelegten Werten. Die dort angenommenen Windbedingungen und die daraus abgeleiteten Betriebslasten erlauben einen Betrieb der WEA über mindestens 20 Jahre. Werden die Lasten am Standort überschritten, ist der 20-jährige Betriebszeitraum nicht mehr gewährleistet. Durch Betriebsbeschränkungen oder einen modifizierten Anlagenbetrieb mit verringerter Nachlaufturbulenz kann die Einhaltung der Werte der Typenprüfung erreicht werden.

Die Umgebungsturbulenz und die anlageninduzierte Turbulenz werden in Nabenhöhe an den geplanten Anlagenstandorten und den nahegelegenen Nachbarstandorten (Abstand kleiner achtfacher Rotordurchmesser D der Neuanlagen) separat für 12 Windrichtungssektoren berechnet und dokumentiert. Weiter entfernte WEA werden bei der Berechnung berücksichtigt, sofern sie sich im Abstand kleiner $10 D$ zu einer näher gelegenen Anlage befinden. Bei Anlagenabständen $> 10 D$ ist nach dem hier angewandten Verfahren nach Frandsen und Thøgersen [5] keine Beeinflussung durch die Nachlaufturbulenz vorhanden.

Die vom Auftraggeber vorgegebenen Standorte und Anlagentypen in der Parkkonfiguration werden dabei zugrunde gelegt. Neben der Neuplanung wurden 15 weitere WEA (Bestand und Fremdplanung) betrachtet.

3 Der Standort

Die Windparkfläche befindet sich nordwestlich von Schwaney (Landkreis Paderborn) und südwestlich von Buke. Weitere Ortschaften in der Umgebung sind Altenbeken, ca 3,5 km im Norden und Dahl 5,5 km südwestlich. Der Kurort Bad Driburg liegt ca. 6,5 km östlich.

Das nähere Umfeld ist durch großräumige landwirtschaftliche Nutzung ohne Hecken und nur vereinzelte Büsche und Baumreihen entlang der Feldwege und Straßen geprägt. Die nächstgelegenen geschlossenen Waldbestände befinden sich östlich von Schwaney entlang des Eggegebirges. Weitere Waldbestände grenzen im Westen und Süden im Abstand von 2-3 km an.

Das Gelände ist im nahen Umfeld stark hügelig mit typischen Höhen von 280-340 m NN innerhalb der Windparkfläche.

Die drei neuen Standorte befinden sich auf Höhen von 305-340 m ü. NN. 10 bestehende Anlagen des Windparks Schwaney/Buke im Abstand kleiner 8D werden berücksichtigt.

Nach DIN EN 1991-1-4 NA kann dem Standort die Geländekategorie II zugeordnet werden.

Fotodokumentation

Fotostandort WEA P25



Blick nach Nordwesten



Blick nach Norden



Blick nach Nordosten



Blick nach Osten



Blick nach Südosten



Blick nach Süden



Blick nach Südwesten



Blick nach Westen

Fotostandort WEA P20



Blick nach Nordwesten



Blick nach Norden



Blick nach Nordosten



Blick nach Osten



Blick nach Südosten



Blick nach Süden



Blick nach Südwesten



Blick nach Westen auf WEA 8

Fotostandort WEA P44



Blick nach Nordwesten



Blick nach Norden



Blick nach Nordosten



Blick nach Osten



Blick nach Südosten



Blick nach Süden



Blick nach Südwesten



Blick nach Westen

4 Bestimmung der Standorteignung

Die Standorteignung von Windenergieanlagen (WEA) wird durch die Typenprüfung oder eine Einzelprüfung für jede WEA nachgewiesen. In den Prüferunterlagen werden für die Auslegung der Anlage und den Standsicherheitsnachweis Annahmen u.a. zu den Turbulenzverhältnissen getroffen, die den Lastrechnungen für den Anlagentyp zugrunde liegen.

Die dort getroffenen Annahmen beruhen auf den Richtlinien des Instituts für Bautechnik (DIBt), die sich u.a auf die DIN EN 61400-1 bezieht. Je nach Zeitpunkt der Erstellung der Typenprüfung sind die Normen DIBt 1995 [2] DIBt 2004 [3] und DIBt 2012 [1] Grundlage der Typenprüfung.

Die Einhaltung der dort getroffenen Annahmen am Standort der WEA, insbesondere bzgl. der Turbulenzkriterien wird im Rahmen dieser Untersuchung überprüft.

Nach der aktuell gültigen DIBt 2012 sind folgende Kriterien für jeden neuen Anlagenstandort nachzuweisen (bei nicht komplexem Standort, siehe Kap. 4.1):

- Die mittlere Windgeschwindigkeit am Standort ist mindestens 5% kleiner als in der Typenprüfung zugrunde gelegt.
- Die effektive Turbulenz nach DIN EN 61400 im Bereich von $0,2 v_{ref} - 0,4 v_{ref}$ (v_{ref} : Auslegungswindgeschwindigkeit der Typenprüfung) liegt unterhalb der Vorgabe der Auslegungsturbulenz laut Typenprüfung.
- Prüfung der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit: Die Windzone gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die Windzone des betrachteten Standortes gemäß Windzonenkarte ab oder die 50-Jahres-Windgeschwindigkeit gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die 50-Jahres-Windgeschwindigkeit am Standort ab.

Da die Neuplanung für die Standsicherheit der Bestandsanlagen und der weiteren geplanten Anlagen einen nachteiligen Effekt bezüglich der Turbulenzsituation haben kann, ist nach DIBt 2012 ein Nachweis zur effektiven Turbulenzintensität für alle Anlagen im Abstand kleiner $8D$ von der Neuplanung zu führen. Die übrigen Windparameter werden bezüglich der Standsicherheit der Bestandsanlagen von der Neuplanung nicht negativ beeinflusst und müssen darum an den Bestandsanlagen nicht weiter untersucht werden. Anlagen im Abstand kleiner $10 D$ müssen bei der Berechnung der Turbulenz berücksichtigt werden, die Einhaltung der Grenzwerte muss aber für diese WEA nicht zwingend nachgewiesen werden (nach DIBt 2012).

4.1 Komplexität des Geländes

Geländesteigungen und Höhenunterschiede können zu erhöhten Umgebungsturbulenzen führen und müssen daher in orografisch komplexem Gelände berücksichtigt werden.

Der Einfluss der Orografie wird durch einen richtungsabhängigen Turbulenzstrukturparameter definiert. Dabei wird jedem Richtungssektor, der als orografisch komplex einzustufen ist, ein maximaler Turbulenzstrukturparameter von 1,15 zugeordnet.

Die Bewertung der orografischen Komplexität erfolgt durch Auswertung der Geländesteigungen relativ zu einer Ausgleichsebene, die durch die Methode der kleinsten Fehlerquadrate aus den Höhendaten bestimmt wird.

Als Kriterien gelten eine maximale Geländesteigung größer 10° und eine maximale Geländedifferenz von 0,3-mal Nabenhöhe (NH) im Radiusabstand von 5 mal Nabenhöhe (bzw. 0,6 NH bei 10 NH Radius und 1,2 NH bei 20 NH) um den Anlagenstandort.

Wird eines der o.g. genannten Kriterien überschritten, so ist der betreffende Sektor als komplex anzusehen. Der gesamte Standort ist komplex, wenn mehr als 15% der im Wind enthaltenen Energie aus komplexen Sektoren kommt.

Am Standort der Neuanlagen wird keines der genannten Kriterien überschritten, so dass die Standorte nicht als komplex einzustufen ist und die Berücksichtigung eines Turbulenzstrukturparameters entfällt.

4.2 Windverhältnisse

Die Windverhältnisse (Weibull-Parameter, Richtungshäufigkeit in 12 Windrichtungssektoren) an den betrachteten Standorten wurden mit Hilfe des Programms WASP (Version 12) berechnet.

Die Dateneingabe erfolgte über die Software WINDPRO in der Version 3.6.

Eine Verifizierung der Windverhältnisse erfolgte durch Vergleich der mehrjährigen Erträge von bestehenden WEA im Windpark mit einer Ertragsberechnung.

Für das Höhenmodell wurden Daten des EU-DEM Modells (Pan-European digital elevation (surface) model) in der Version 1.1. verwendet, die durch Abtastung der Erdoberfläche (Copernicus Datensatz) in einem festen Gitternetz mit 25m Abstand ermittelt wurden. Durch Vergleich mit anderen Modellen (SRTM, ASTER GDEM) wurden Datenlücken ergänzt.

The EU-DEM is a Pan-European digital elevation (surface) model covering European countries. WindPRO holds the version 1.1 of the dataset. It has a native grid resolution of 25m. The dataset is void-filled and is created by a fuse of SRTM and ASTER GDEM by a weighted averaging approach. For areas outside SRTM coverage (north of 60 degrees), the dataset is primarily based on Russian topography sources. The version 1.1 is improved over the version 1.0 by using ICESat as a reference level along with removing correcting more than 75000 artefacts found in the version 1.0. Credit: Produced using Copernicus data and information funded by the European Union - EU-DEM layers.

Eine spezielle Software in WINDPRO wandelt diese in Höhenlinien mit 2-7 m Höhenabstand um. Die Höhenlinien werden mindestens bis 20 km Entfernung um den Standort eingebunden.

Für die weiträumige Umgebung wurden Werte des CORINE Datensatzes (CORINE: Coordination of Information on the Environment; Landnutzungsdaten. Referenzzeitpunkt 2018. Herausgeber: European Environment Agency) verwendet. Im Nahbereich (< 4-7 km) wurden kleinere, in den Karten nicht erfasste Rauigkeiten wie Baumgruppen, kleinere Waldstücke

und kleine Siedlungen, sowie Einzelgebäude manuell erfasst und berücksichtigt.

Die Luftdichte wurde aus langjährigen Klimastationsdaten (Luftdruck, Temperatur) von Bad Lippspringe ermittelt. Der Einfluss der Standorthöhe über NN auf die Luftdichte ist dabei individuell für jede Anlage berücksichtigt.

Extremwind (50-Jahres Windgeschwindigkeit)

Als Extremwind wird die Windgeschwindigkeit (Mittelwert über 10 Minuten) bezeichnet, die statistisch im Mittel einmal in 50 Jahren erreicht oder überschritten wird. Das entspricht einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02.

Aus der ermittelten Weibull-Häufigkeitsverteilung lässt sich die Überschreitungswahrscheinlichkeit für verschiedene Zeiträume ableiten. Für die Standorteignung ist nach DIBt 2012 nachzuweisen, dass die 50 Jahres Windgeschwindigkeit kleiner ist als die in der Typenprüfung verwendete Auslegungswindgeschwindigkeit. Die Standorteignung ist nach DIBt 2012 auch dann gegeben, wenn die Windzone laut Typenprüfung die Windzone des Aufstellungsorts abdeckt.

4.3 Turbulenz

Die bodennahe Windströmung ist durch die Reibung an der Erdoberfläche turbulent, d.h. innerhalb eines Mittelungsintervalls von z.B. zehn Minuten treten Schwankungen von Windgeschwindigkeit und Windrichtung im Zeitbereich von Zehntelsekunden bis Minuten auf. Die Turbulenz beeinflusst neben dem Energieertrag einer Windkraftanlage auch die aerodynamischen Lasten auf die Rotorblätter, den Turm und das Fundament. Zur Charakterisierung der Turbulenz wird die Turbulenzintensität I verwendet, definiert als Verhältnis zwischen der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit und dem Mittelwert in einem typischen Zeitintervall (in der Regel 10 Minuten).

Die Turbulenz an einem Standort ohne WEA wird bestimmt durch die Rauigkeit der Oberfläche und als Umgebungsturbulenz bezeichnet. Die Umgebungsturbulenz ist ein Maßstab für die Turbulenz des lokalen Windfeldes ohne die Beeinflussung durch vorhandene Windenergieanlagen. Sie hängt von der atmosphärischen Schichtung (labil – neutral – stabil), der Höhe über Grund, sowie der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung ab [4].

Eine Windkraftanlage erhöht den Turbulenzgrad in ihrer Nachlaufströmung und damit die Umgebungsturbulenz um die Nachlauf- oder wake-Turbulenz. Der Einfluss der Nachlauf-turbulenz nimmt mit dem Abstand zur Anlage ab. Die Stärke der Beeinflussung hängt neben den Windbedingungen im Wesentlichen von der Rotorblattgeometrie, gekennzeichnet durch den Rotordurchmesser und den Schubbeiwert, der Nabenhöhe und der Rotordrehzahl der Anlage ab.

Die Wirkung der Turbulenz auf WEA wird durch eine effektive Turbulenzintensität beschrieben, die sich aus Umgebungs- und wake Turbulenz berechnet und deren Betrag zusätzlich von den verwendeten Werkstoffen der WEA Bauteile abhängt.

4.4 Umgebungsturbulenz

Die Umgebungsturbulenz I_{umg} ist ein Maß für die Schwankungen der Windgeschwindigkeit (Böigkeit) an dem vorgesehenen Standort ohne Beeinflussung durch WEA. Sie nimmt mit steigender Windgeschwindigkeit und mit der Höhe über Grund ab. Über einer inhomogenen Oberfläche mit unterschiedlichen Rauigkeiten hängt sie zusätzlich von der Windrichtung ab.

Idealerweise sollte I_{umg} aus gemessenen Daten der (horizontalen) Windgeschwindigkeit und ihrer Standardabweichung an Messmasten abgeleitet werden. Der Messzeitraum sollte dabei mindestens 1 Jahr umfassen.

Wenn keine Messungen vor Ort vorliegen, wird die Umgebungsturbulenz aus der Geländerauigkeit indirekt bestimmt. Dazu wird die Rauigkeitslänge z_0 nach einer Terrainklassifizierung in 12 Richtungssektoren zu je 30 Grad erfasst [4]. Die Terrainklassifizierung erfolgt über die Eingabe eines digitalen Geländemodells. Unter der Annahme einer homogenen, isotropen Umgebungsturbulenz (Gleichheit der Standardabweichungen von horizontaler und vertikaler Windgeschwindigkeit) und eines logarithmischen Vertikalprofils der Windgeschwindigkeit gilt vereinfacht:

$$I_{umg} = 1 / \log(z / z_0)$$

wobei z die Höhe über Grund und z_0 die Rauigkeitslänge bezeichnet.

In der älteren DIBt 2004 wird Bezug genommen auf die charakteristische Turbulenzintensität I_{char} . Sie ist definiert als mittlere Turbulenzintensität plus einfache Standardabweichung. Liegen keine Messungen vor, wird eine Standardabweichung von 20% angenommen, d.h. die mittlere Turbulenzintensität wird mit dem Faktor 1,2 multipliziert:

$$I_{char} = I_{umg} + \sigma_i = I_{umg} * 1,2$$

Für Standsicherheitsnachweise nach DIBt 2012 wird die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} verwendet. Sie ist als mittlere Turbulenzintensität bei 90% Unterschreitungswahrscheinlichkeit (obere Grenze des Vertrauensbereichs, p_{90} Wert) definiert. Dazu wird zur mittleren Turbulenzintensität die 1,28 fache Standardabweichung σ_i addiert:

$$I_{rep} = I_{umg} + 1,28 * \sigma_i = I_{umg} * 1,256$$

Die Turbulenzintensität wird für jeden 30 Grad Windrichtungssektor in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit ermittelt.

4.5 Effektive Turbulenz

Der Einfluss der Nachlaufströmung einer Windkraftanlage (anlageninduzierte Turbulenz oder Wake-Turbulenz) und die effektive Turbulenz werden mit der Rechensoftware WASP 12 und WASP Engineering 4.0 nach dem Turbulenzmodell von Frandsen und Thøgersen [5] berechnet. Dieses Modell wird vom Institut für Bautechnik als Berechnungsgrundlage empfohlen (DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung März 2004 und Oktober 2012, [1]). Das Rechenprogramm ist vom TÜV Süd zertifiziert.

In die Berechnung der effektiven Turbulenz geht der materialspezifische Wöhler-Koeffizient m als Maß für die Festigkeit und Lebensdauer der in

den WEA verwendeten Baustoffe ein. Dabei werden die Rotorblätter mit einem Wert von $m=10$ oder größer betrachtet.

Die Standsicherheit der Anlagen bzgl. der Turbulenzsituation ist gewährleistet, wenn die der Typen- oder Einzelprüfung der Windenergieanlage zugrunde liegenden Werte der effektiven Turbulenz nicht überschritten werden.

Nach DIBt 2012 ist der Einfluss auf die umgebenden Anlagen im Park nur für WEA im Abstand kleiner dem achtfachen Rotordurchmesser D nachzuweisen. Weitere Anlagen in der Umgebung werden dabei zusätzlich berücksichtigt, sofern sie sich im Abstand von $10 D$ zu einer näher gelegenen WEA befinden. Bei Abständen $> 10 D$ wird nach dem Ansatz von Frandsen und Thøgersen [5] kein wake Einfluss mehr angenommen.

5 Ergebnisse der Standortberechnung

5.1 Parklayout

Die folgende Karte zeigt die Neuplanung mit 3 Anlagen (WEA P20, P25, P44) und den bestehenden, bzw. von Dritten geplanten WEA (B76, B82, B87, B91, B101) in der unmittelbaren Umgebung.

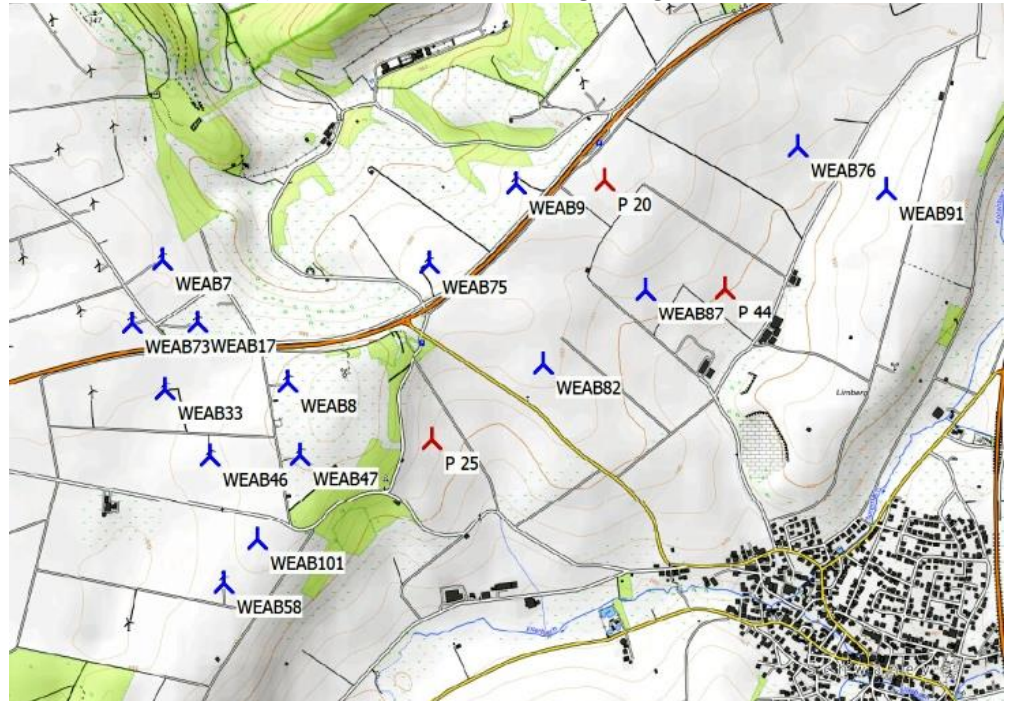


Abbildung 1:: Übersichtskarte: geplante WEA P20, P25, P44 und benachbarte / von Dritten geplante WEA im Abstand < 8D (15 WEA).

Tabelle 1a: Übersicht: geplante WEA Nr.1-3 und betrachtete Nachbar WEA (15 WEA). Planung Dritter in *kursiv*

lfd. Nr	Bezeichnung	Typ	Nennleistung (kW)	Nabenhöhe (m)	Rotordurchmesser (m)	UTM (north)-ETRS89 Zone: 32	
Neue WEA							
1	WEA P20	Vestas V150	6.000	166,0	150,0	494.475	5.731.079
2	WEA P25	Vestas V162	6.200	169,0	162,0	493.800	5.730.076
3	WEA P44	Vestas V150	6.000	166,0	150,0	494.943	5.730.662
Bestand							
4	<i>WEAB101</i>	<i>E-160 EP5 E3</i>	<i>5.560</i>	<i>119,8</i>	<i>160,0</i>	<i>493.119</i>	<i>5.729.685</i>
5	WEAB17	E-82 E2-2.300	2.300	138,4	82,0	492.887	5.730.530
6	WEAB33	E-82 E2 TES-2.300	2.300	138,4	82,0	492.760	5.730.271
7	WEAB46	E-82 E2 TES-2.300	2.300	138,4	82,0	492.934	5.730.012
8	WEAB47	E-82 E2-2.300	2.300	108,4	82,0	493.284	5.730.015
9	WEAB58	E-82 E2-2.300	2.300	138,4	82,0	492.988	5.729.517
10	WEAB7	E-82 E2-2.300	2.300	108,4	82,0	492.749	5.730.777
11	WEAB73	E-40/5.40-500	500	50,0	40,3	492.631	5.730.530
12	WEAB75	E-138 EP3 E2-4.200	4.200	160,0	138,3	493.790	5.730.763
13	<i>WEAB76</i>	<i>N163/6.X-6.800</i>	<i>6.800</i>	<i>164,0</i>	<i>163,0</i>	<i>495.228</i>	<i>5.731.211</i>
14	WEAB8	E-82 E2-2.300	2.300	108,4	82,0	493.238	5.730.300
15	<i>WEAB82</i>	<i>V162-7.2-7.200</i>	<i>7.200</i>	<i>169,0</i>	<i>162,0</i>	<i>494.235</i>	<i>5.730.367</i>
16	<i>WEAB87</i>	<i>V150-6.0-6.000</i>	<i>6.000</i>	<i>148,0</i>	<i>150,0</i>	<i>494.633</i>	<i>5.730.658</i>
17	WEAB9	E-147 EP5 4.3MW	4.300	126,3	147,0	494.128	5.731.068
18	<i>WEAB91</i>	<i>V162-7.2-7.200</i>	<i>7.200</i>	<i>169,0</i>	<i>162,0</i>	<i>495.572</i>	<i>5.731.044</i>

Die verwendeten Leistungs- und Schubbeiwertkurven der WEA sind im Anhang dargestellt.

5.2 Windverhältnisse

Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch die errechneten Werte der Weibull-Häufigkeitsverteilung an einem repräsentativen Standort in 169m Höhe (WEA P25 (nach [6])):

Tabelle 2: Ermittelte Windverhältnisse in 169 m Höhe über Grund (WEA P25). A, k: Weibull Parameter; D: displacement height; v: Windgeschwindigkeit.

Sektor	A (m/s)	v (m/s)	D(m)	k	Häuf %
0	5,12	4,54	9,39	1,971	3,2
1	4,59	4,1	9,15	1,717	4,8
2	5,41	4,83	13,31	1,678	7,5
3	7,06	6,27	15,35	1,857	9,1
4	7,34	6,5	14,37	2,096	10,6
5	6,94	6,15	10,42	2,111	9,7
6	5,78	5,12	5,06	1,955	9,2
7	7,12	6,32	14,62	1,951	8,8
8	10,14	9,02	16,7	2,654	14,2
9	10,12	8,99	17,73	2,564	12,6
10	8,71	7,72	17,24	2,264	6,8
11	6,91	6,12	15,26	2,096	3,5
Ges	7,59	6,74	-	1,916	100

Für die Turbulenzberechnung erfolgte die Berechnung der Windgeschwindigkeiten und der Richtungsverteilung individuell am jeweiligen Anlagenstandort in Nabenhöhe.

5.2.1 Plausibilisierung

Eine Plausibilisierung der Wind-Häufigkeitsverteilung wird mit Hilfe von Betriebsdaten bestehenden WEA in der unmittelbaren Umgebung vorgenommen.

Dazu wurden die Ertragsdaten von bestehenden Anlagen in der weiteren Umgebung ausgewertet und mit einer Ertragsberechnung gemäß Technischer Richtlinie 6 (TR6) der Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien e.V. (FGW) verglichen. Durch einen Vergleich der Vorhersagegüte konnte die ermittelte Wind-Häufigkeitsverteilung bestätigt werden.

5.3 Umgebungsturbulenz

Für die betrachteten 12 Windrichtungssektoren ergeben sich exemplarisch am Standort der Anlage SAB 1 die in der folgenden Tabelle dargestellten Werte der repräsentativen Umgebungsturbulenz bei 15 m/s:

Tabelle 3: Ergebnis der sektoriellen Berechnung der Umgebungsturbulenz am Standort der WEA P25 (bei 15 m/s)

Richtungssektor	Repr. Umgebungsturb. in % Höhe 169 m bei 15 m/s	Windrichtung Häufigkeit in %
0 (Nord)	14,4	3,2
1	14,8	4,8
2	16,3	7,5
3 (Ost)	16,5	9,1
4	15,9	10,6
5	14,6	9,7
6 (Süd)	14,1	9,2
7	14,9	8,8
8	15,6	14,2
9 (West)	15,5	12,6
10	15,3	6,8
11	14,8	3,5
Maximal	16,5	
Mittel windrichtungsgewichtet	15,3	

Für die repräsentative Umgebungsturbulenz erhält man in 169 m Nabenhöhe einen Mittelwert von 15,3 % (bei 15 m/s).

5.4 Effektive Turbulenz

Da die Neuplanung für die Standsicherheit der Nachbaranlagen einen nachteiligen Effekt bezüglich der Turbulenzsituation haben kann, ist nach DIBt 2012 ein Nachweis zur effektiven Turbulenzintensität für alle Anlagen im Abstand kleiner 8 D von der Neuplanung zu führen. Die übrigen Windparameter werden bezüglich der Standsicherheit von benachbarten Anlagen von der Neuplanung nicht beeinflusst.

Für die Neuanlagen sind zur Durchführung einer Lastrechnung weitere Standortparameter zu untersuchen (siehe Kap. 5.5.)

Nach DIBt Richtlinie (DIBt 2004, 2012) braucht der Einfluss von Nachbaranlagen nur innerhalb eines Abstands vom achtfachen Rotordurchmesser der Neuanlagen (8 x 150 m und 8 x 162 m) nachgewiesen werden. Innerhalb dieses Abstands um die Neuanlagen befinden sich 15 weitere Bestandsanlagen und geplante WEA.

Die anzuwendende DIBt Richtlinie orientiert sich an den in der Typen- oder Einzelprüfung der WEA verwendeten Verfahren, d.h. für nach DIBt 2012 geprüfte WEA erfolgt die Prüfung der Standorteignung nach dieser Norm, für die nach DIBt 2004, bzw. DIBt 1995 geprüften WEA reicht eine Prüfung der Standorteignung nach diesen Normen aus (Bestandsschutz). Die Neuanlagen und die Bestandsanlagen sind nach DIBt 2012 geprüft.

Optional kann die Prüfung der Standorteignung auch für WEA mit einer Typenprüfung nach der älteren Norm auf Grundlage der DIBt 2012 erfolgen. Für die hier betrachteten WEA wurde folgende Zuordnung gewählt:

Tabelle 4: Übersicht der zu beachtenden Richtlinien der WEA.

WEA	Richtlinie Standorteignung
Nr. 1-18	DIBt 2012

Nach den Richtlinien sind die Auslegungswerte abhängig von der Windgeschwindigkeit. Nach DIBt 2012 ist die repräsentative Umgebungsturbulenz zu verwenden.

Die nächste Tabelle zeigt für die untersuchten Standorte die Höhe der effektiven Turbulenzintensität bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten:

- Neuanlagen ohne Beschränkung
- Bestand + Drittplanung (< 8D Abstand) mit Neuanlagen
- Bestand + Drittplanung (< 8D Abstand) ohne Neuanlagen

Die Auslegungswerte nach DIBt 2012 (IEC 61400-1 ed. 3 (2010)) sind im oberen Teil dargestellt.

Tabelle 5: Effektive Turbulenzintensität für m=10 (in %) an den betrachteten Anlagenstandorten und Auslegungswerte nach DIBt 2012, Überschreitungen fett gedruckt. Neubau ohne Betriebsbeschränkung.

Windgeschwindigkeit (m/s)		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21-25
Auslegungswert %																			
DIBt 2012		34,2	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	15,9
lfd. Nr.		Neubau 2x Vestas V150, 1x Vestas V162																	
1		25,4	25,6	26,0	26,2	26,2	25,8	25,0	23,9	22,8	21,7	20,7	19,9	19,2	18,7	18,1	17,8	17,5	16,6
2		22,4	22,0	21,7	21,5	21,3	20,9	20,3	19,7	18,9	18,1	17,6	17,2	16,9	16,7	16,5	16,4	16,2	15,9
3		26,4	26,8	27,3	27,9	28,4	28,7	28,3	27,4	26,0	24,6	23,4	22,4	21,6	20,8	19,9	19,1	18,4	17,0
		Bestand + weitere Planung 15 WEA																	
4		24,4	24,5	24,5	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	22,7	20,9	19,6	18,7	17,8	17,0	16,4	15,9	15,4	14,4
5		21,8	21,8	21,7	21,6	21,4	21,2	20,9	20,6	19,3	17,9	17,0	16,4	15,8	15,4	15,1	14,9	14,8	14,6
6		21,4	21,3	21,1	20,8	20,5	20,1	19,7	19,3	18,1	16,8	16,0	15,5	15,1	14,9	14,8	14,7	14,7	14,6
7		26,2	25,8	25,6	25,2	24,6	23,7	22,6	21,5	20,0	18,6	17,4	16,5	15,9	15,4	15,1	15,0	14,8	14,7
8		26,8	26,3	26,0	25,6	25,0	24,2	23,1	22,1	20,8	19,4	18,3	17,5	16,9	16,3	15,9	15,6	15,3	14,7
9		33,1	31,9	31,0	29,9	28,7	27,2	25,5	23,8	22,0	20,5	18,9	17,8	16,8	15,9	15,3	14,9	14,7	14,1
10		21,3	21,4	21,3	21,1	20,7	20,4	19,9	19,3	17,9	16,4	15,4	14,8	14,4	14,1	14,0	13,9	13,8	13,7
11		23,4	23,3	23,1	22,8	22,6	22,4	22,2	22,0	20,8	19,3	18,4	17,8	17,3	17,0	16,8	16,7	16,6	16,5
12		23,6	23,2	22,9	22,6	22,1	21,6	20,6	19,6	18,6	17,6	16,9	16,4	16,0	15,8	15,6	15,4	15,3	15,1
13		26,9	26,8	26,8	26,8	26,6	26,3	25,3	24,1	22,6	21,1	19,9	18,9	18,2	17,6	17,1	16,7	16,4	-
14		22,7	22,6	22,4	22,2	22,0	21,7	21,2	20,6	19,5	18,2	17,4	16,9	16,4	16,1	15,8	15,6	15,4	15,0
15		23,1	22,9	23,0	23,1	23,2	23,3	22,6	21,5	20,3	19,3	18,6	17,9	17,4	17,0	16,6	16,2	15,8	15,2
16		28,0	27,8	27,8	27,8	27,8	27,6	26,8	25,6	24,1	22,6	21,4	20,5	19,7	19,0	18,4	17,8	17,3	16,3
17		26,4	26,3	26,2	26,1	26,0	25,7	24,9	23,7	22,3	21,0	20,0	19,1	18,5	17,9	17,3	16,9	16,5	15,8
18		24,5	24,7	24,9	25,2	25,3	25,1	24,6	23,8	22,8	21,8	20,8	19,9	19,0	18,4	17,8	17,4	17,1	15,3

SOWIWAS – Energie GmbH

Tabelle 6: Effektive Turbulenzintensität für m=10 (in %) an den bestehenden Anlagenstandorten ohne Neuplanung, Überschreitungen fett gedruckt.

Windgeschwindigkeit (m/s)		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21-25
Auslegungswert %																			
DIBt 2012		34,2	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	15,9
lfd. Nr.		Bestand: 10 WEA, Drittplanung: 5 WEA (kursiv)																	
4		24,3	24,4	24,4	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	22,7	20,9	19,6	18,7	17,8	17,0	16,4	15,9	15,4	15,1
5		21,7	21,8	21,7	21,6	21,4	21,1	20,8	20,5	19,3	17,9	17,0	16,3	15,8	15,4	15,1	14,9	14,7	14,7
6		21,4	21,2	21,0	20,7	20,4	20,0	19,7	19,3	18,0	16,7	15,9	15,4	15,1	14,9	14,7	14,7	14,6	14,6
7		26,2	25,8	25,6	25,2	24,6	23,7	22,6	21,5	20,0	18,6	17,4	16,5	15,9	15,4	15,1	15,0	14,8	14,8
8		26,5	26,0	25,7	25,3	24,6	23,7	22,7	21,8	20,5	19,2	18,1	17,3	16,7	16,1	15,7	15,4	15,2	15,0
9		33,1	31,9	31,0	29,9	28,7	27,2	25,5	23,8	22,0	20,5	18,9	17,8	16,8	15,9	15,3	14,9	14,7	14,4
10		21,3	21,3	21,2	21,0	20,7	20,3	19,8	19,3	17,8	16,3	15,3	14,7	14,3	14,1	13,9	13,9	13,8	13,8
11		23,4	23,2	23,0	22,8	22,6	22,4	22,2	22,0	20,8	19,3	18,4	17,8	17,3	17,0	16,8	16,7	16,6	16,6
12		23,2	22,9	22,5	22,2	21,8	21,3	20,4	19,5	18,5	17,5	16,8	16,4	16,0	15,8	15,6	15,4	15,3	15,2
13		26,8	26,7	26,7	26,6	26,5	26,2	25,1	23,9	22,4	20,9	19,7	18,7	17,9	17,3	16,9	16,5	16,3	-
14		21,9	21,7	21,5	21,3	21,0	20,7	20,4	20,1	19,1	17,9	17,2	16,7	16,3	15,9	15,7	15,5	15,3	15,2
15		21,8	21,5	21,2	20,9	20,6	20,1	19,3	18,4	17,5	16,7	16,2	15,8	15,6	15,4	15,2	15,1	15,0	15,0
16		22,5	22,7	23,0	23,4	23,7	23,8	23,3	22,6	21,6	20,5	19,7	18,9	18,4	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3
17		22,8	22,8	22,8	22,7	22,5	22,1	21,5	20,8	19,9	19,0	18,3	17,6	17,2	16,8	16,4	16,1	15,9	15,6
18		24,4	24,6	24,9	25,1	25,2	25,0	24,5	23,7	22,7	21,7	20,7	19,8	19,0	18,3	17,8	17,4	17,1	15,4

Tabelle 7: Differenz der effektiven Turbulenzintensität für m=10 (in %): vor und nach Zubau von 3 WEA. Signifikante Änderungen in Fettdruck.

Windgeschwindigkeit (m/s)		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21-25
Auslegungswert %																			
DIBt 2012		34,2	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	15,9
lfd. Nr.		Bestand: 10 WEA, Drittplanung: 5 WEA (kursiv)																	
4		0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
6		0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
7		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8		0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
9		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10		0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
11		0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

SOWIWAS – Energie GmbH

12		0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13		0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	-
14		0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
15		1,3	1,4	1,8	2,2	2,6	3,2	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,1	0,8	0,6
16		5,5	5,1	4,8	4,4	4,1	3,8	3,5	3,0	2,5	2,1	1,7	1,6	1,3	1,1	0,9	0,7	0,6	0,6
17		3,6	3,5	3,4	3,4	3,5	3,6	3,4	2,9	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8	0,6	0,6
18		0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1

Bewertung:

Die Umgebungsturbulenz liegt in einer für offene Landschaften typischen Größenordnung.

Neuanlagen

WEA 1 (P20)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden von 7,5-25 m/s überschritten. Eine standortspezifische Lastrechnung sollte hier durchgeführt werden. Alternativ ist ein Sektormanagement vorzusehen:

Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den betroffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 8: Betriebsbeschränkungen der WEA 1. Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.17	Nr. 1	Abschaltung	7,5-25 m/s	253-285

WEA 2 (P25)

Die Richtwerte werden eingehalten

WEA 3 (P44)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden von 7,5-25 m/s überschritten. Eine standortspezifische Lastrechnung sollte hier durchgeführt werden. Alternativ ist ein Sektormanagement vorzusehen:

Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den betroffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 9: Betriebsbeschränkungen der WEA 3 (P44). Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.16	Nr. 3	Abschaltung	7,5-25 m/s	252-287

Bestand im Abstand < 8D

WEA 4-6

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden eingehalten.

WEA 7

Die Richtwerte nach DIBt 2012 sind bereits leicht überschritten, werden durch den Zubau aber nicht weiter erhöht.

WEA 8 (B47)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden durch den Zubau erhöht. Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den be-

troffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 10: Betriebsbeschränkungen der WEA 8, bzw. WEA 2. Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.2	Nr. 8	Abschaltung	9,5-12,0 m/s	72-105

WEA 9-13

Die Turbulenzwerte werden durch den Zubau nicht signifikant ($< 0,3\%$) erhöht.

WEA 14 (B8)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden durch den Zubau (WEA Nr.2 - P25) leicht erhöht. Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den betroffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 11: Betriebsbeschränkungen der WEA 14, bzw. WEA 2. Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.2	Nr. 14	Abschaltung	9,3-12,0 m/s	100-124

WEA 15 (B82)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden durch den Zubau (WEA Nr.2 - P25) leicht erhöht. Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den betroffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 12: Betriebsbeschränkungen der WEA 14, bzw. WEA 2. Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.2	Nr. 15	Abschaltung	8,0-14,8 m/s	224-250

WEA 16 (B87)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden durch den Zubau (WEA Nr.3 – P44) leicht erhöht. Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den betroffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 13: Betriebsbeschränkungen der WEA 16, bzw. WEA 3. Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.3	Nr. 16	Abschaltung	7,5-25,0 m/s	74-107

WEA 17 (B9)

Die Richtwerte nach DIBt 2012 werden durch den Zubau (WEA Nr.1 – P20) erhöht. Zur Einhaltung der Grenzwerte sind folgende Betriebsbeschränkungen in den betroffenen Windrichtungssektoren und bei bestimmten Windgeschwindigkeiten notwendig:

Tabelle 14: Betriebsbeschränkungen der WEA 17, bzw. WEA 1. Abschaltung der betroffenen WEA im angegebenen Geschwindigkeits- und Windrichtungsbereich (Sektor).

Verursachende WEA	betroffene WEA	Betriebsbeschränkung	Windgeschw. m/s	Sektorbereich Grad
Nr.1	Nr. 17	Abschaltung	7,5-25,0 m/s	73-105

Die im Gutachten bestimmten Werte für mittlere Windgeschwindigkeit, Windscherung, Strömungsneigung und effektive Turbulenz können als Eingang für einen Lastvergleich (Lastrechnung) verwendet werden.

5.5 Weitere Parameter zur Standorteignung für die geplanten WEA

Der Windpark Schwaney liegt in Windzone 2. Die mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe 169 m der neuen WEA beträgt 6,74 m/s.

Tabelle 10: Standortparameter an den neuen WEA.

WEA Nr.	Naben- höhe	Neigung	Scherung	Luft- dichte	Extremwind
	m	Grad	-	kg/m ³	m/s
1	166	0,8	0,20	1,184	35,6
2	169	-3,7	0,23	1,187	34,1
3	166	-1,9	0,23	1,188	33,3

Die vorstehenden Angaben sind unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen ermittelt worden. Schadensersatzansprüche sind ausgeschlossen. Abschriften und Auszüge dürfen ohne Genehmigung des Verfassers nur vom Auftraggeber erstellt werden, um am beschriebenen Standort das Projekt zu realisieren.

SOWIWAS - Energie GmbH

Energie aus Sonne, Wind, Wasser und mehr

Watenstedter Straße 11

3 8 3 8 4 G e v e n s l e b e n

Telefon: 05354 - 99 06.235

Telefax: 05354 - 99 06.219

Internet: www.sowiwas.de

E-mail: gutachten@sowiwas.de

Gevensleben, den 29. November 2023



(Dr. Jost Constantin)



Sven Schmidt

(Geschäftsführung)

Literaturverzeichnis

- (1) Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung Oktober 2012
- (2) Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) Richtlinien für Windkraftanlagen: Schriften des DIBt, Reihe B Heft 8, Berlin 1995
- (3) Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung März 2004
- (4) Europäischer Windatlas. Herausgeber: I.Troen, E.L.Petersen, Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark, 1990.
- (5) S. Frandsen & M.L. Thøgersen, Integrated Fatigue Loading for Wind Turbines in Wind Farms by Combining Ambient Turbulence and Wakes, Wind Engineering, Volume 23, No. 6, 1999.
- (6) Landwind GmbH: Energieertragsberechnungen für Windkraftanlagen, Standort Schwaney , November 2023.

Höhendaten:

EU-DEM Modells (Pan-European digital elevation (surface) model) in der Version 1.1., bereitgestellt von EMD Dänemark.

Rauigkeitsdaten:

EUROPEAN WIND ATLAS, I. Troen und E.L. Petersen
ISBN 87-550-1482-8, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
1990.

Anhang

Ergebnisse der Berechnung:

Site compliance - Annahmen

Leistungskennlinien

Projekt:

Schwaney

Lizenzierter Anwender:

SOWIWAS - Energie GmbH

Watenstedter Straße 11

DE-38384 Gevensleben

+49 0 53 54 / 99 06 - 235

Andreas Schulze / gutachten@sowiwas.de

Berechnet:

27.11.2023 21:12/3.6.366

SITE COMPLIANCE - Details & Annahmen

Berechnung: alle

Auslegungsnorm: IEC61400-1 ed. 3 (2010)

Allgemeine Daten, WEA-Ergebnisse

		WEA Mittel	Min WEA	Max WEA
u50j (Extremwind)	[m/s]	34,4	30,8	36,4
Mittlere Windgeschw.	[m/s]	6,5	5,4	6,9
k-Parameter (*kombinierte Weibull)	[-]	1,9	1,8	1,9
Mittlere Umgebungs-TI @ 15m/s	[-]	0,12	0,11	0,12

Auslegungsparameter IEC-Klassen

		Klasse IIA
Vref (Extremwind)	[m/s]	42,5
Mittlere Windgeschw.	[m/s]	8,5
k-Parameter	[-]	2,0
I15 (mittlere TI bei 15 m/s)	[-]	0,16
Luftdichte	[kg/m ²]	1,225
Shear	[-]	0,20

WASP

WASP 12 Version 12.07.0068

Hindernisse berücksichtigt

Terraindaten

A Terraindaten: WASP (1)

WASP-Parameter

Standard-WASP-Parameter

WASP Engineering Parameter

WASP Engineering 4.00.0198

Sektoren

12

Reduziert geostrophisch

h=10m, z0=0,05m, u=20m/s

Domäne

Bereich: 5000m, Auflösung: 50m, Punkte N-S: 234, Punkte O-W: 259

Turbulenzmodell

Kaimal

Terraindaten

Terraindaten: WASP (1)

Hindernisse nicht berücksichtigt

WEA

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

ID Ost Nord Z Hersteller Typ

Nenn-

leis-

tung

[kW]

Naben-

durch-

messer

[m]

Leistungskennlinie

Quelle

Name

Projekt:

Schwaney

Lizenzierter Anwender:

SOWIWAS - Energie GmbH

Watenstedter Straße 11

DE-38384 Gevensleben

+49 0 53 54 / 99 06 - 235

Andreas Schulze / gutachten@sowiwas.de

Berechnet:

27.11.2023 21:20/3.6.366

PARK - Leistungskennlinien-Analyse

Berechnung: 3x Vestas **WEA:** P 20 - VESTAS V150-6.0 6000 150.0 !O!, Nabhöhe: 166,0 m

Name: Level 0 - - Modos PO6000/PO6000-0S - 10-2020

Datenquelle: Manufacturer

Quelle/Datum	Erzeugt von	Erzeugt	Bearbeitet	Abschaltwind- geschwindigkeit	Leistungsbegrenzung	Schubbeiwert (Ct)	Generatortyp	Leistungs- dichte
13.10.2020	EMD	01.03.2021	01.03.2021	[m/s] 25,0	Pitch	Benutzerdefiniert	variabel	kW/m ² 0,34
Document no. 0098-0749 V01.								

Leistungskennlinie

Originaldaten, Luftdichte: 1,225 kg/m³

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Windgeschwindigkeit [m/s]	Ct
3,0	40,0	0,14	3,0	0,86
3,5	135,0	0,29	3,5	0,84
4,0	250,0	0,36	4,0	0,81
4,5	391,0	0,40	4,5	0,79
5,0	563,0	0,42	5,0	0,78
5,5	775,0	0,43	5,5	0,78
6,0	1.032,0	0,44	6,0	0,79
6,5	1.337,0	0,45	6,5	0,79
7,0	1.693,0	0,46	7,0	0,79
7,5	2.101,0	0,46	7,5	0,79
8,0	2.565,0	0,46	8,0	0,79
8,5	3.086,0	0,46	8,5	0,78
9,0	3.657,0	0,46	9,0	0,77
9,5	4.231,0	0,46	9,5	0,73
10,0	4.777,0	0,44	10,0	0,67
10,5	5.258,0	0,42	10,5	0,61
11,0	5.642,0	0,39	11,0	0,55
11,5	5.867,0	0,36	11,5	0,48
12,0	5.956,0	0,32	12,0	0,42
12,5	5.988,0	0,28	12,5	0,36
13,0	5.998,0	0,25	13,0	0,32
13,5	6.000,0	0,23	13,5	0,28
14,0	6.000,0	0,20	14,0	0,25
14,5	6.000,0	0,18	14,5	0,22
15,0	6.000,0	0,16	15,0	0,20
15,5	6.000,0	0,15	15,5	0,18
16,0	6.000,0	0,14	16,0	0,16
16,5	6.000,0	0,12	16,5	0,15
17,0	5.842,0	0,11	17,0	0,13
17,5	5.585,0	0,10	17,5	0,12
18,0	5.353,0	0,08	18,0	0,10
18,5	5.121,0	0,07	18,5	0,09
19,0	4.887,0	0,07	19,0	0,08
19,5	4.655,0	0,06	19,5	0,07
20,0	4.424,0	0,05	20,0	0,06
20,5	4.196,0	0,04	20,5	0,06
21,0	3.966,0	0,04	21,0	0,05
21,5	3.723,0	0,03	21,5	0,04
22,0	3.495,0	0,03	22,0	0,04
22,5	3.259,0	0,03	22,5	0,03
23,0	3.012,0	0,02	23,0	0,03
23,5	2.806,0	0,02	23,5	0,03
24,0	2.580,0	0,02	24,0	0,02
24,5	2.288,0	0,01	24,5	0,02
25,0	2.044,0	0,01	25,0	0,02

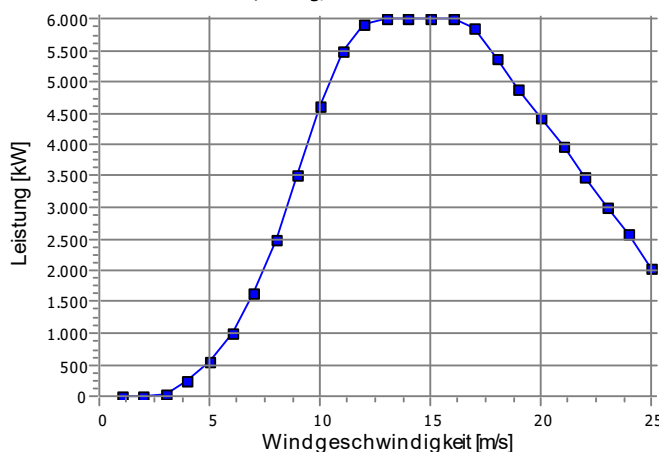
Leistung, Effizienz und Energie vs. Windgeschw.

Daten in der Berechnung verwendet, Luftdichte: 1,184 kg/m³ Neue windPRO-Methode (Modifizierte IEC-Methode mit besserer Anpassung an WEA-Steuerung) <EMPFÖHLEN>

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Intervall [m/s]	Energie [MWh]	Akkum. Energie [MWh]	Energie Relativ [%]
1,0	0,0	0,00	0,50- 1,50	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,00	1,50- 2,50	0,0	0,0	0,0
3,0	33,4	0,12	2,50- 3,50	44,6	44,6	0,3
4,0	239,3	0,36	3,50- 4,50	186,5	231,1	1,6
5,0	543,0	0,42	4,50- 5,50	423,0	654,1	4,5
6,0	996,1	0,44	5,50- 6,50	738,0	1.392,1	9,5
7,0	1.635,0	0,46	6,50- 7,50	1.103,2	2.495,3	17,1
8,0	2.477,8	0,46	7,50- 8,50	1.468,7	3.964,0	27,1
9,0	3.526,7	0,46	8,50- 9,50	1.767,8	5.731,8	39,3
10,0	4.617,2	0,44	9,50-10,50	1.905,7	7.637,6	52,3
11,0	5.494,8	0,39	10,50-11,50	1.818,0	9.455,5	64,8
12,0	5.913,1	0,33	11,50-12,50	1.536,6	10.992,1	75,3
13,0	5.992,5	0,26	12,50-13,50	1.182,7	12.174,8	83,4
14,0	6.000,0	0,21	13,50-14,50	862,9	13.037,6	89,3
15,0	6.000,0	0,17	14,50-15,50	604,7	13.642,3	93,4
16,0	6.000,0	0,14	15,50-16,50	406,9	14.049,2	96,2
17,0	5.842,0	0,11	16,50-17,50	255,2	14.304,4	98,0
18,0	5.353,0	0,09	17,50-18,50	145,6	14.450,1	99,0
19,0	4.887,0	0,07	18,50-19,50	78,2	14.528,3	99,5
20,0	4.424,0	0,05	19,50-20,50	39,7	14.568,0	99,8
21,0	3.966,0	0,04	20,50-21,50	18,9	14.586,9	99,9
22,0	3.495,0	0,03	21,50-22,50	8,4	14.595,3	100,0
23,0	3.012,0	0,02	22,50-23,50	3,5	14.598,9	100,0
24,0	2.580,0	0,02	23,50-24,50	1,4	14.600,2	100,0
25,0	2.044,0	0,01	24,50-25,50	0,4	14.600,6	100,0

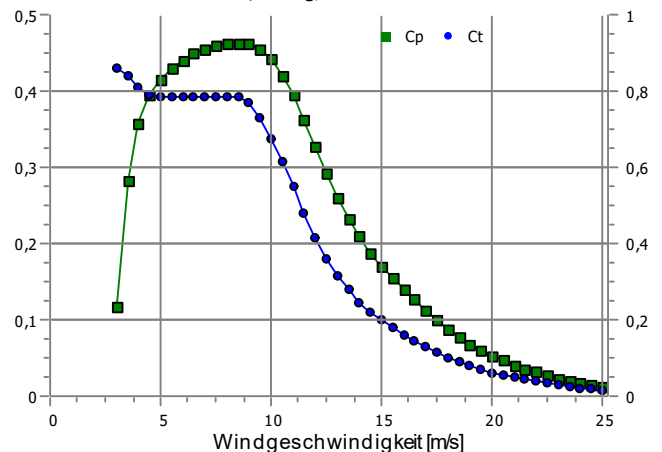
Leistungskennlinie

Für Luftdichte: 1,184 kg/m³ und Referenzklimadaten



Cp- und Ct-Kennlinie

Für Luftdichte: 1,184 kg/m³ und Referenzklimadaten



PARK - Leistungskennlinien-Analyse

Berechnung: 3x Vestas **WEA:** P 25 - VESTAS V162-6.2 6200 162.0 !O!, Nabenhöhe: 169,0 m

Name: Level 0 - Calculated - Modes PO6200/PO6200-0S - 06-2021

Datenquelle: Vestas

Quelle/Datum	Erzeugt von	Erzeugt	Bearbeitet	Abschaltwind- geschwindigkeit	Leistungsbegrenzung	Schubbeiwert (Ct)	Generatortyp	Leistungs- dichte
30.06.2021	EMD	26.08.2021	10.11.2021	[m/s] 24,0	Pitch	Benutzerdefiniert	variabel	kW/m ² 0,30
Document no.: 0107-3707 V00								

Leistungskennlinie

Originaldaten, Luftdichte: 1,225 kg/m³

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Windgeschwindigkeit [m/s]	Ct
3,0	34,0	0,10	3,0	0,91
3,5	150,0	0,28	3,5	0,88
4,0	292,0	0,36	4,0	0,85
4,5	467,0	0,41	4,5	0,84
5,0	676,0	0,43	5,0	0,82
5,5	927,0	0,44	5,5	0,81
6,0	1.229,0	0,45	6,0	0,81
6,5	1.584,0	0,46	6,5	0,81
7,0	2.000,0	0,46	7,0	0,81
7,5	2.476,0	0,46	7,5	0,80
8,0	3.017,0	0,47	8,0	0,80
8,5	3.626,0	0,47	8,5	0,79
9,0	4.284,0	0,47	9,0	0,78
9,5	4.917,0	0,45	9,5	0,72
10,0	5.483,0	0,43	10,0	0,66
10,5	5.882,0	0,40	10,5	0,58
11,0	6.114,0	0,36	11,0	0,50
11,5	6.176,0	0,32	11,5	0,43
12,0	6.197,0	0,28	12,0	0,37
12,5	6.200,0	0,25	12,5	0,32
13,0	6.200,0	0,22	13,0	0,28
13,5	6.200,0	0,20	13,5	0,25
14,0	6.200,0	0,18	14,0	0,22
14,5	6.200,0	0,16	14,5	0,20
15,0	6.200,0	0,15	15,0	0,18
15,5	6.200,0	0,13	15,5	0,16
16,0	6.200,0	0,12	16,0	0,15
16,5	6.200,0	0,11	16,5	0,14
17,0	6.186,0	0,10	17,0	0,12
17,5	6.077,0	0,09	17,5	0,11
18,0	5.853,0	0,08	18,0	0,10
18,5	5.590,0	0,07	18,5	0,09
19,0	5.348,0	0,06	19,0	0,08
19,5	5.095,0	0,05	19,5	0,07
20,0	4.825,0	0,05	20,0	0,06
20,5	4.538,0	0,04	20,5	0,05
21,0	4.251,0	0,04	21,0	0,05
21,5	3.954,0	0,03	21,5	0,04
22,0	3.664,0	0,03	22,0	0,04
22,5	3.367,0	0,02	22,5	0,03
23,0	3.064,0	0,02	23,0	0,03
23,5	2.763,0	0,02	23,5	0,03
24,0	2.451,0	0,01	24,0	0,02

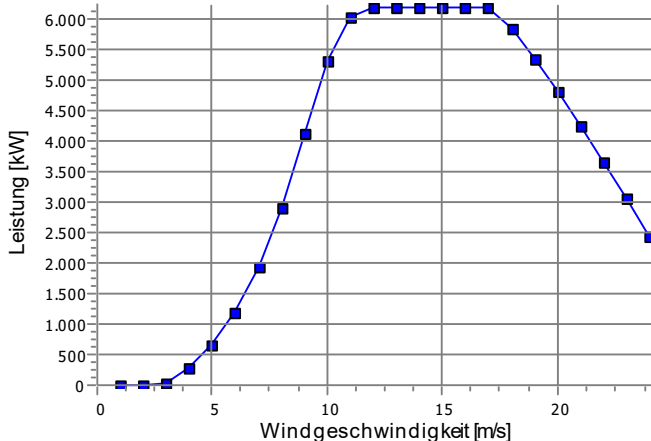
Leistung, Effizienz und Energie vs. Windgeschw.

Daten in der Berechnung verwendet, Luftdichte: 1,187 kg/m³ Neue windPRO-Methode (Modifizierte IEC-Methode mit besserer Anpassung an WEA-Steuerung) <EMPFOHLEN>

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Intervall [m/s]	Energie [MWh]	Akkum. Energie [MWh]	Energie Relativ [%]
1,0	0,0	0,00	0,50- 1,50	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,00	1,50- 2,50	0,0	0,0	0,0
3,0	26,5	0,08	2,50- 3,50	57,7	57,7	0,3
4,0	279,7	0,36	3,50- 4,50	255,8	313,5	1,9
5,0	653,3	0,43	4,50- 5,50	591,0	904,5	5,4
6,0	1.189,7	0,45	5,50- 6,50	1.022,1	1.926,6	11,4
7,0	1.936,9	0,46	6,50- 7,50	1.505,4	3.432,0	20,3
8,0	2.922,3	0,47	7,50- 8,50	1.969,5	5.401,5	32,0
9,0	4.144,1	0,46	8,50- 9,50	2.308,6	7.710,1	45,6
10,0	5.328,5	0,44	9,50-10,50	2.371,3	10.081,4	59,7
11,0	6.031,0	0,37	10,50-11,50	2.089,3	12.170,7	72,0
12,0	6.187,6	0,29	11,50-12,50	1.615,1	13.785,8	81,6
13,0	6.200,0	0,23	12,50-13,50	1.153,8	14.939,6	88,4
14,0	6.200,0	0,18	13,50-14,50	783,8	15.723,5	93,1
15,0	6.200,0	0,15	14,50-15,50	507,0	16.230,5	96,1
16,0	6.200,0	0,12	15,50-16,50	311,4	16.541,9	97,9
17,0	6.195,3	0,10	16,50-17,50	179,8	16.721,7	99,0
18,0	5.853,0	0,08	17,50-18,50	94,8	16.816,5	99,5
19,0	5.348,0	0,06	18,50-19,50	45,1	16.861,6	99,8
20,0	4.825,0	0,05	19,50-20,50	19,9	16.881,6	99,9
21,0	4.251,0	0,04	20,50-21,50	8,1	16.889,7	100,0
22,0	3.664,0	0,03	21,50-22,50	3,0	16.892,7	100,0
23,0	3.064,0	0,02	22,50-23,50	1,0	16.893,8	100,0
24,0	2.451,0	0,01	23,50-24,50	0,3	16.894,0	100,0

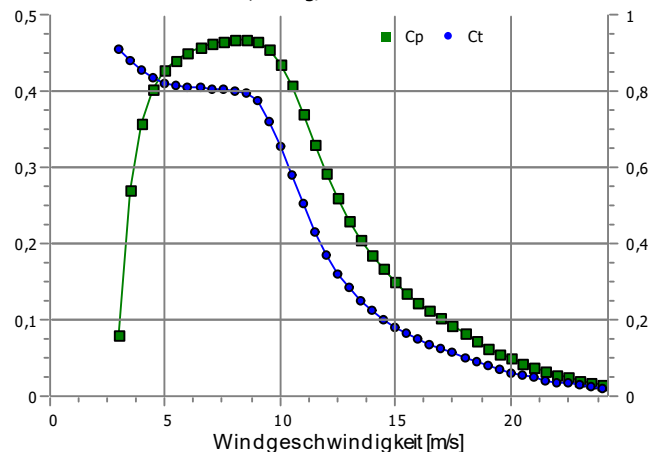
Leistungskennlinie

Für Luftdichte: 1,187 kg/m³ und Referenzklimadaten



Cp- und Ct-Kennlinie

Für Luftdichte: 1,187 kg/m³ und Referenzklimadaten



PARK - Leistungskennlinien-Analyse

Berechnung: 3x Vestas **WEA:** P 44 - VESTAS V150-6.0 6000 150.0 !O!, Nabenhöhe: 166,0 m

Name: Level 0 - - Modes PO6000/PO6000-0S - 10-2020

Datenquelle: Manufacturer

Quelle/Datum	Erzeugt von	Erzeugt	Bearbeitet	Abschaltwind- geschwindigkeit [m/s]	Leistungsbegrenzung	Schubbeiwert (Ct)	Generatortyp	Leistungs- dichte kW/m ²
13.10.2020	EMD	01.03.2021	01.03.2021	25,0	Pitch	Benutzerdefiniert	variabel	0,34
Document no. 0098-0749 V01.								

Leistungskennlinie

Originaldaten, Luftdichte: 1,225 kg/m³

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Windgeschwindigkeit [m/s]	Ct
3,0	40,0	0,14	3,0	0,86
3,5	135,0	0,29	3,5	0,84
4,0	250,0	0,36	4,0	0,81
4,5	391,0	0,40	4,5	0,79
5,0	563,0	0,42	5,0	0,78
5,5	775,0	0,43	5,5	0,78
6,0	1.032,0	0,44	6,0	0,79
6,5	1.337,0	0,45	6,5	0,79
7,0	1.693,0	0,46	7,0	0,79
7,5	2.101,0	0,46	7,5	0,79
8,0	2.565,0	0,46	8,0	0,79
8,5	3.086,0	0,46	8,5	0,78
9,0	3.657,0	0,46	9,0	0,77
9,5	4.231,0	0,46	9,5	0,73
10,0	4.777,0	0,44	10,0	0,67
10,5	5.258,0	0,42	10,5	0,61
11,0	5.642,0	0,39	11,0	0,55
11,5	5.867,0	0,36	11,5	0,48
12,0	5.956,0	0,32	12,0	0,42
12,5	5.988,0	0,28	12,5	0,36
13,0	5.998,0	0,25	13,0	0,32
13,5	6.000,0	0,23	13,5	0,28
14,0	6.000,0	0,20	14,0	0,25
14,5	6.000,0	0,18	14,5	0,22
15,0	6.000,0	0,16	15,0	0,20
15,5	6.000,0	0,15	15,5	0,18
16,0	6.000,0	0,14	16,0	0,16
16,5	6.000,0	0,12	16,5	0,15
17,0	5.842,0	0,11	17,0	0,13
17,5	5.585,0	0,10	17,5	0,12
18,0	5.353,0	0,08	18,0	0,10
18,5	5.121,0	0,07	18,5	0,09
19,0	4.887,0	0,07	19,0	0,08
19,5	4.655,0	0,06	19,5	0,07
20,0	4.424,0	0,05	20,0	0,06
20,5	4.196,0	0,04	20,5	0,06
21,0	3.966,0	0,04	21,0	0,05
21,5	3.723,0	0,03	21,5	0,04
22,0	3.495,0	0,03	22,0	0,04
22,5	3.259,0	0,03	22,5	0,03
23,0	3.012,0	0,02	23,0	0,03
23,5	2.806,0	0,02	23,5	0,03
24,0	2.580,0	0,02	24,0	0,02
24,5	2.288,0	0,01	24,5	0,02
25,0	2.044,0	0,01	25,0	0,02

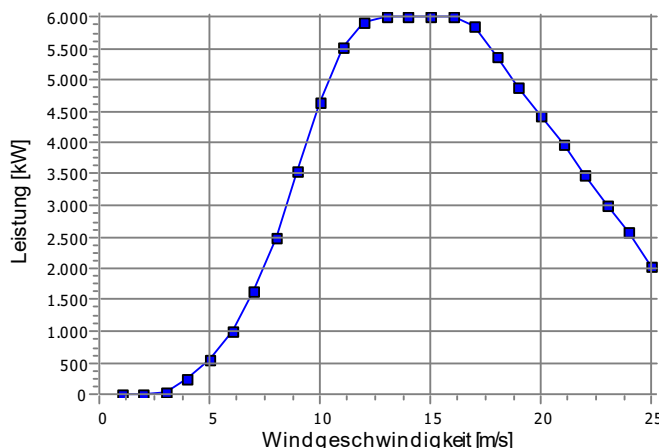
Leistung, Effizienz und Energie vs. Windgeschw.

Daten in der Berechnung verwendet, Luftdichte: 1,188 kg/m³ Neue windPRO-Methode (Modifizierte IEC-Methode mit besserer Anpassung an WEA-Steuerung) <EMPFÖHLEN>

Windgeschwin- digkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Intervall [m/s]	Energie [MWh]	Akkum. Energie [MWh]	Energie Relativ [%]
1,0	0,0	0,00	0,50- 1,50	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,00	1,50- 2,50	0,0	0,0	0,0
3,0	34,0	0,12	2,50- 3,50	47,7	47,7	0,4
4,0	240,4	0,36	3,50- 4,50	197,3	245,1	1,9
5,0	545,0	0,42	4,50- 5,50	440,6	685,7	5,3
6,0	999,7	0,44	5,50- 6,50	753,0	1.438,7	11,0
7,0	1.640,8	0,46	6,50- 7,50	1.098,4	2.537,1	19,5
8,0	2.486,6	0,46	7,50- 8,50	1.422,6	3.959,6	30,4
9,0	3.539,7	0,46	8,50- 9,50	1.662,7	5.622,4	43,1
10,0	4.633,0	0,44	9,50-10,50	1.738,3	7.360,7	56,4
11,0	5.509,2	0,39	10,50-11,50	1.605,7	8.966,4	68,8
12,0	5.917,3	0,33	11,50-12,50	1.311,7	10.278,1	78,8
13,0	5.993,1	0,26	12,50-13,50	973,8	11.251,8	86,3
14,0	6.000,0	0,21	13,50-14,50	683,4	11.935,3	91,5
15,0	6.000,0	0,17	14,50-15,50	458,8	12.394,1	95,0
16,0	6.000,0	0,14	15,50-16,50	294,2	12.688,3	97,3
17,0	5.842,0	0,11	16,50-17,50	174,9	12.863,1	98,6
18,0	5.353,0	0,09	17,50-18,50	93,8	12.957,0	99,4
19,0	4.887,0	0,07	18,50-19,50	47,0	13.004,0	99,7
20,0	4.424,0	0,05	19,50-20,50	22,1	13.026,0	99,9
21,0	3.966,0	0,04	20,50-21,50	9,6	13.035,7	100,0
22,0	3.495,0	0,03	21,50-22,50	3,9	13.039,6	100,0
23,0	3.012,0	0,02	22,50-23,50	1,5	13.041,0	100,0
24,0	2.580,0	0,02	23,50-24,50	0,5	13.041,5	100,0
25,0	2.044,0	0,01	24,50-25,50	0,1	13.041,6	100,0

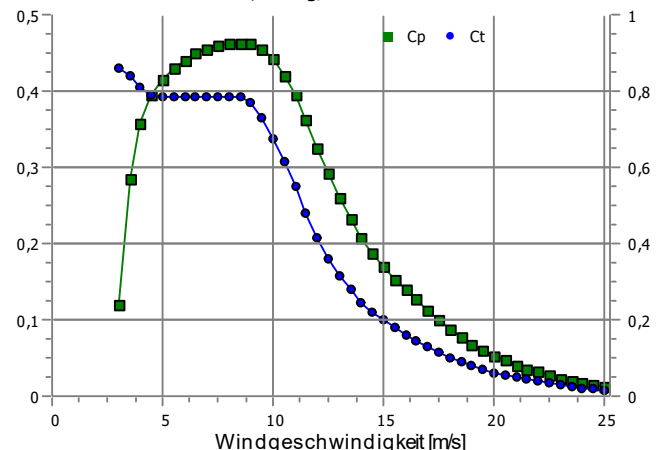
Leistungskennlinie

Für Luftdichte: 1,188 kg/m³ und Referenzklimadaten



Cp- und Ct-Kennlinie

Für Luftdichte: 1,188 kg/m³ und Referenzklimadaten



Projekt:

Schwaney

Lizenzierter Anwender:

SOWIWAS - Energie GmbH

Watenstedter Straße 11

DE-38384 Gevensleben

+49 0 53 54 / 99 06 - 235

Andreas Schulze / gutachten@sowiwas.de

Berechnet:

03.11.2023 22:47/3.6.366

PARK - Leistungskennlinien-Analyse

Berechnung: 3x Vestas **WEA:** 8 - ENERCON E-147 EP5 E2 5000 147.0 !O!, Nabenhöhe: 126,0 m

Name: Mode 0 Standard_5000 kW - preliminary

Datenquelle: Enercon GmbH

Quelle/Datum	Erzeugt von	Erzeugt	Bearbeitet	Abschaltwind- geschwindigkeit [m/s]	Leistungsbegrenzung	Schubbeiwert (Ct)	Generatortyp	Leistungs- dichte kW/m ²
10.05.2019	USER	15.03.2019	15.07.2019	25,0	Pitch	Benutzerdefiniert	variabel	0,29

D0810273-1_#_en_#_Data sheet operating modes E-147 EP5 E2_5000 kW mit TES.pdf

This data is preliminary. Subject to technical changes.

Enercon reserves the right to change the above specifications without prior notice.

Leistungskennlinie

Originaldaten, Luftdichte: 1,225 kg/m³

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Windgeschwindigkeit [m/s]	Ct
3,0	68,0	0,24	3,0	0,88
3,5	143,0	0,32	3,5	0,84
4,0	248,0	0,37	4,0	0,83
4,5	382,0	0,40	4,5	0,83
5,0	548,0	0,42	5,0	0,82
5,5	748,0	0,43	5,5	0,82
6,0	986,0	0,44	6,0	0,82
6,5	1.263,0	0,44	6,5	0,81
7,0	1.578,0	0,44	7,0	0,79
7,5	1.926,0	0,44	7,5	0,77
8,0	2.297,0	0,43	8,0	0,74
8,5	2.676,0	0,42	8,5	0,70
9,0	3.050,0	0,40	9,0	0,65
9,5	3.406,0	0,38	9,5	0,60
10,0	3.736,0	0,36	10,0	0,55
10,5	4.036,0	0,34	10,5	0,50
11,0	4.297,0	0,31	11,0	0,46
11,5	4.514,0	0,29	11,5	0,41
12,0	4.682,0	0,26	12,0	0,37
12,5	4.804,0	0,24	12,5	0,34
13,0	4.886,0	0,21	13,0	0,30
13,5	4.937,0	0,19	13,5	0,27
14,0	4.967,0	0,17	14,0	0,24
14,5	4.984,0	0,16	14,5	0,22
15,0	4.993,0	0,14	15,0	0,20
15,5	4.997,0	0,13	15,5	0,18
16,0	4.999,0	0,12	16,0	0,16
16,5	5.000,0	0,11	16,5	0,15
17,0	5.000,0	0,10	17,0	0,14
17,5	5.000,0	0,09	17,5	0,12
18,0	5.000,0	0,08	18,0	0,11
18,5	5.000,0	0,08	18,5	0,11
19,0	5.000,0	0,07	19,0	0,10
19,5	5.000,0	0,06	19,5	0,09
20,0	5.000,0	0,06	20,0	0,09
20,5	5.000,0	0,06	20,5	0,08
21,0	5.000,0	0,05	21,0	0,07
21,5	5.000,0	0,05	21,5	0,07
22,0	5.000,0	0,05	22,0	0,07
22,5	5.000,0	0,04	22,5	0,06
23,0	5.000,0	0,04	23,0	0,06
23,5	5.000,0	0,04	23,5	0,06
24,0	5.000,0	0,03	24,0	0,05
24,5	5.000,0	0,03	24,5	0,05
25,0	5.000,0	0,03	25,0	0,05

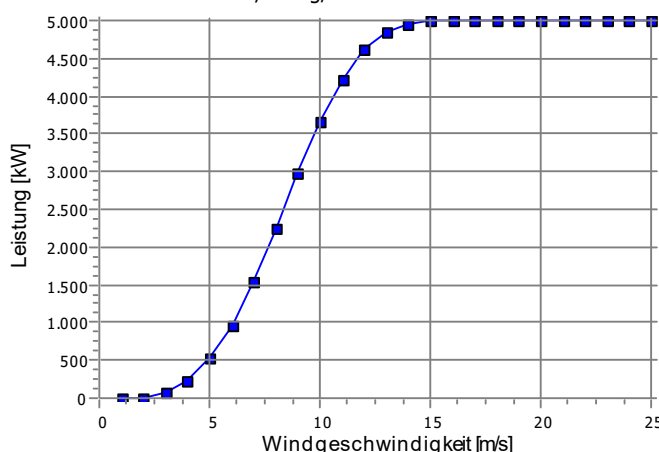
Leistung, Effizienz und Energie vs. Windgeschw.

Daten in der Berechnung verwendet, Luftdichte: 1,190 kg/m³ Neue windPRO-Methode (Modifizierte IEC-Methode mit besserer Anpassung an WEA-Steuerung) <EMPFOHLEN>

Windgeschwin- digkeit [m/s]	Leistung [kW]	Cp	Intervall [m/s]	Energie [MWh]	Akkum. Energie [MWh]	Relativ [%]
1,0	0,0	0,00	0,50- 1,50	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,00	1,50- 2,50	0,0	0,0	0,0
3,0	63,5	0,23	2,50- 3,50	58,6	58,6	0,5
4,0	239,7	0,37	3,50- 4,50	223,9	282,5	2,4
5,0	531,5	0,42	4,50- 5,50	479,1	761,6	6,5
6,0	957,6	0,44	5,50- 6,50	797,2	1.558,8	13,4
7,0	1.534,2	0,44	6,50- 7,50	1.125,4	2.684,1	23,0
8,0	2.237,5	0,43	7,50- 8,50	1.389,9	4.074,0	34,9
9,0	2.977,0	0,40	8,50- 9,50	1.518,3	5.592,4	47,9
10,0	3.653,2	0,36	9,50-10,50	1.483,9	7.076,2	60,7
11,0	4.211,1	0,31	10,50-11,50	1.315,7	8.391,9	71,9
12,0	4.612,6	0,26	11,50-12,50	1.068,4	9.460,4	81,1
13,0	4.847,8	0,22	12,50-13,50	799,6	10.259,9	88,0
14,0	4.951,9	0,18	13,50-14,50	555,8	10.815,7	92,7
15,0	4.988,2	0,15	14,50-15,50	362,1	11.177,8	95,8
16,0	4.997,9	0,12	15,50-16,50	222,3	11.400,1	97,7
17,0	5.000,0	0,10	16,50-17,50	128,7	11.528,8	98,8
18,0	5.000,0	0,08	17,50-18,50	70,2	11.599,0	99,4
19,0	5.000,0	0,07	18,50-19,50	36,0	11.635,0	99,7
20,0	5.000,0	0,06	19,50-20,50	17,3	11.652,4	99,9
21,0	5.000,0	0,05	20,50-21,50	7,8	11.660,2	100,0
22,0	5.000,0	0,05	21,50-22,50	3,3	11.663,5	100,0
23,0	5.000,0	0,04	22,50-23,50	1,3	11.664,8	100,0
24,0	5.000,0	0,04	23,50-24,50	0,5	11.665,3	100,0
25,0	5.000,0	0,03	24,50-25,50	0,1	11.665,4	100,0

Leistungskennlinie

Für Luftdichte: 1,190 kg/m³ und Referenzklimadaten



Cp- und Ct-Kennlinie

Für Luftdichte: 1,190 kg/m³ und Referenzklimadaten

