

**Gutachtliche Stellungnahme zur  
Standorteignung (lastseitig) von insgesamt  
zwei Windenergieanlagen  
des Typs ENERCON E-82 im Windpark  
Elbe  
mittels generischer Lastrechnungen**

**Auftraggeber:**

Windkraft Infrastrukturgesellschaft Nord GmbH & Co. KG  
Grasweg 26  
24118 Kiel

Revision 0

Hamburg, 30.03.2020

Revision	Datum	Änderung
0	30.03.2020	Erste Ausgabe

**Gegenstand:** Untersuchung der Standorteignung (lastseitig) der Bestandsanlagen (ENERCON E-82, nach /2/) WEA W19 und W20 (nach /1/) innerhalb des Windparks Elbe mittels generischer Lastrechnungen

**Referenz-Nr.:** 2019-SGT-105

#### **Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:**

- /1/ I17-Wind GmbH & Co. KG: Gutachten zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 für den Windpark Elbe; Bericht-Nr.: I17-SE-2020-059 ENTWURF, Friedrichstadt, 10.02.2020
- /2/ ENERCON GmbH: Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen, ENERCON, E-82 E2/BF/107/23/01, Dokumentenname: TP-E82 E2 107 mNH Rev 11.pdf
- /3/ E-Mail von: Christian Nowack, Ebert Erneuerbare Energien Wind GmbH & Co. KG, an: Niklas Hackstein, TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, AW: Anfrage Generische Lastenrechnung Windpark Elbe, Datum: 13.02.2020

#### **Literatur**

- /4/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 (Korrigierte Fassung März 2015); DIBt, Berlin; 2012

**Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:**

Verfasser	M. Richter, M. Sc. Sachverständiger	Hamburg, 30.03.2020
Geprüft durch	Dipl.-Ing. (FH) O. Röglin Sachverständiger	Hamburg, 30.03.2020

**Für weitere Auskünfte:**

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
N. Hackstein, M. Eng.  
Große Bahnstraße 31  
22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 1680

E-Mail: [nhackstein@tuev-nord.de](mailto:nhackstein@tuev-nord.de)

## 1 Aufgabenstellung

In /1/ erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der relevanten Windbedingungen am Standort mit den jeweiligen Windbedingungen der Typenprüfung, wie in der DIBt-Richtlinie 2012 /4/ vorgesehen.

Die bestehenden WEA W19 und W20 (ENERCON E-82, 2,00 MW, 108,4 m NH) werden durch den Zubau der geplanten WEA erhöhten effektiven Turbulenzintensitäten ausgesetzt. Detaillierte Informationen können aus /1/ entnommen werden.

Alternativ zum Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen am Standort mit den jeweiligen Windbedingungen der Typenprüfung ist der Nachweis durch Vergleich der standortspezifischen Betriebsfestigkeitslasten (BF-Lasten) mit den Auslegungslasten der Typenprüfung möglich. Für den Fall, dass die standortspezifischen BF-Lasten unterhalb oder auf dem Niveau der Auslegungslasten liegen, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde gelegt wurden, ist die Standorteignung der WEA lastseitig gewährleistet. Sollten die standortspezifischen BF-Lasten oberhalb der Auslegungslasten der Typenprüfung liegen, kann die Standorteignung der betroffenen WEA nicht nachgewiesen werden.

## 2 Durchgeführte Untersuchungen

In diesem Kapitel wird das Vorgehen beschrieben, nach dem der Nachweis geführt wird.

Um die jeweiligen standortspezifischen BF-Lasten der WEA mit den BF-Lasten der Auslegung vergleichen zu können, werden diese zunächst unter Berücksichtigung der jeweiligen Umgebungsbedingungen ermittelt (siehe Abschnitte 2.2 und 2.3). Dazu wird ein generisches Lastrechnungsmodell erstellt, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben.

Extremlasten sind nicht Gegenstand der Betrachtung, da die Extremwindgeschwindigkeiten unabhängig vom Zubau weiterer WEA sind und hier nur die Auswirkung des Zubaus der neu geplanten WEA betrachtet wird.

### 2.1 Aufbau generisches Lastrechnungsmodell

Da keine detaillierten Lastrechnungsmodelldaten für die zu bewertende WEA (WEA W19 und W20 nach /1/, beschrieben in /2/) vorliegen, kann kein exaktes Lastrechnungsmodell der WEA aufgebaut werden. In solchen Fällen ist es möglich ein generisches Lastrechnungsmodell zu verwenden.

Ein generisches Lastrechnungsmodell wird auf Basis einer reduzierten Datenlage (hier /2/)) anlagenmodellspezifisch erstellt und bildet so das reelle Lastrechnungsmodell, das zur ursprünglichen Ermittlung der in der Typenprüfung zugrunde gelegten Auslegungslasten verwendet wurde, nicht vollständig und detailgetreu ab. Die elementaren aerodynamischen und strukturdynamischen Eigenschaften der WEA werden durch

das generische Lastrechnungsmodell jedoch hinreichend genau abgebildet, wodurch relative Lastvergleiche, bei denen die zu vergleichenden Lasten mit Hilfe des generischen Lastrechnungsmodells ermittelt werden, zulässig sind.

Die zugrunde gelegten Daten werden der Typenprüfung /2/ und den zugehörigen Dokumenten entnommen sind in Tabelle 1 auszugsweise abgebildet:

Nennleistung	2.000 kW	
Nabenhöhe	108,4 m	
Rotordurchmesser	82,0 m	
Rotornennndrehzahl	19,5 rpm	
Einschaltwindgeschwindigkeit	3,0 m/s	
Nennwindgeschwindigkeit	13,4 m/s	
Abschaltwindgeschwindigkeit	34,0 m/s	
Leistungsregelung	Pitch	
Getriebeübersetzung	getriebeelos	
1. Eigenfrequenz Turm	starr	0,37 Hz
	elastisch	0,40 Hz
1. Eigenfrequenz Blatt	Schlagrichtung	0,64 Hz
	Schwenkrichtung	1,38 Hz
Rotor-Konuswinkel	0°	
Rotorachsneigung	5°	

**Tabelle 1:** Technische Daten ENERCON E-82, 2,00 MW, 108,4 m NH /2/

## 2.2 Rekonstruktion der Auslegungslasten

Als Vergleichsbasis für die standortspezifischen Lasten dienen die rekonstruierten Auslegungslasten. Diese werden anhand der zugrunde gelegten Windklasse und unter Verwendung des generischen Lastrechnungsmodells berechnet. Dazu werden der Betriebslastfall DLC 1.2 und der Trudellastfall DLC 6.4 nach DIBt-Richtlinie 2012 /4/ entsprechend der in Tabelle 2 dargestellten Umgebungsbedingungen berechnet.

Zugrunde gelegte Richtlinie	DIBt Fassung 2004
Windzone	2
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit	8,5 m/s
Formparameter k der Weibull-Funktion	2,0
Turbulenzintensitäten	Kurve A nach /4/
Luftdichte	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Höhenexponent	0,2

**Tabelle 2:** Umgebungsbedingungen Auslegung ENERCON E-82, 2,00 MW, 108,4 m NH /2/, Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe bezogen

Die Aufstellung der Lastkollektive erfolgt für eine mittlere Jahreswindgeschwindigkeit und eine Wahrscheinlichkeitsdichte als Weibull-Verteilung nach Tabelle 2. Die ange-setzte Lebensdauer beträgt 20 Jahre.

## 2.3 Berechnung der standortspezifischen BF-Lasten

Die Berechnung der standortspezifischen BF-Lasten erfolgt mit den in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellten Umgebungsbedingungen und unter Verwendung des generischen Lastrechnungsmodells. Die Umgebungsbedingungen werden aus /1/ entnommen und als gegeben angenommen. Der Wöhlerexponent  $m$  ist ein materialspezifischer Ermüdungsparameter, der in der Berechnung entsprechend berücksichtigt wird.

	abdeckend für WEA W19 und W20
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit	6,35 m/s
Formparameter $k$ der Weibull-Funktion	2,31
Effektive Turbulenzintensitäten	siehe Tabelle 4 und Tabelle 5
Luftdichte	1,217 kg/m <sup>3</sup>
Höhenexponent	0,27

**Tabelle 3:** Standortspezifische Umgebungsbedingungen WEA W19 und W20 nach /1/, Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe bezogen

Windgeschwindigkeit [m/s]	Effektive Turbulenzintensitäten $I_{eff}$ [%](DIBt 2004) abdeckend für WEA W19 und W20	
	$m=4$	$m=10$
3	37,1	39,6
4	32,2	34,5
5	29,3	31,8
6	27,1	29,5
7	25,4	27,7
8	23,9	26,1
9	22,9	25,1
10	21,3	23,1
11	19,8	21,6
12	17,0	17,6
13	15,5	15,9
14	14,6	14,8
15	13,9	14,1
16	13,4	13,5
17	13,0	13,1
18	12,7	12,7
19	12,4	12,4
20	12,2	12,2
21	12,0	12,0
22	11,8	11,8
23	11,6	11,7
24	11,5	11,5
25	11,4	11,4

**Tabelle 4:** Effektive Turbulenzintensitäten WEA W19 und W20 nach Zubau der geplanten WEA /1/

Bei der Berechnung werden zusätzlich die effektiven Turbulenzintensitäten der WEA W19 und W20 vor Zubau berücksichtigt, siehe Tabelle 5. Als Inbetriebnahme werden entsprechend /3/ die folgenden Daten genommen:

- WEA W19: 18.12.2009
- WEA W20: 19.12.2009

Der Zubau der geplanten WEA (nach /1/) ist zu Oktober 2021 geplant (nach /3/).

Windgeschwindigkeit [m/s]	Effektive Turbulenzintensitäten $I_{eff}$ [%](DIBt 2004)	
	abdeckend für WEA W19 und W20	
	m=4	m=10
3	35,9	39,0
4	30,7	33,7
5	27,5	30,5
6	25,4	28,3
7	23,7	26,5
8	22,2	24,7
9	21,1	23,6
10	20,1	22,4
11	19,1	21,3
12	16,4	17,1
13	15,1	15,4
14	14,3	14,5
15	13,7	13,8
16	13,3	13,3
17	12,9	13,0
18	12,6	12,6
19	12,4	12,4
20	12,2	12,2
21	11,9	11,9
22	11,8	11,8
23	11,6	11,7
24	11,5	11,5
25	11,4	11,4

**Tabelle 5:** Effektive Turbulenzintensitäten WEA W19 und W20 vor Zubau der geplanten WEA /1/

Die Aufstellung der Lastkollektive erfolgt für ein Jahreswindmittel und eine Wahrscheinlichkeitsdichte als Weibull-Verteilung nach Tabelle 3. Die angesetzte Lebensdauer beträgt 20 Jahre.

## 2.4 Lastvergleich

Um die lastseitige Standorteignung der bestehenden WEA W19 und W20 /1/ zu prüfen, werden die nach den Abschnitten 2.2 und 2.3 ermittelten BF-Lasten für folgende Schnittstellen miteinander verglichen:

- Turm: Turmkopf und Turmfuß
- Blatt: Blattwurzel und diverse Blattschnitte
- Nabe / Triebstrang: festes und rotierendes Koordinatensystem

Werden die standortspezifischen BF-Lasten von den rekonstruierten BF-Auslegungslasten abgedeckt, ist lasttechnisch die Standorteignung festgestellt.

### **3 Zusammenfassung und Bewertung**

Zum lastenbasierten Nachweis der Standorteignung werden die standortspezifischen BF-Lasten (ermittelt mit den Umgebungsbedingungen aus den Tabellen 3 bis 5) der WEA W19 und W20 (ENERCON E-82, 2,00 MW, 108,4 m NH) mit den Auslegungslasten (ermittelt mit den Umgebungsbedingungen aus Tabelle 2) verglichen. Die Lasten werden mit Hilfe des in Kapitel 2.1 beschriebenen generischen Lastrechnungsmodells berechnet.

Unter Berücksichtigung der Annahmen und Hinweise in den Kapiteln 4 und 5 sind die WEA W19 und W20 (ENERCON E-82, 2,00 MW, 108,4 m NH) aufgrund des in Kapitel 2 beschriebenen, durchgeführten Lastvergleiches als lasttechnisch standortgeeignet anzusehen. Die in /1/ beschriebenen Umgebungsbedingungen führen nicht zu BF-Lasten, die größer als die Auslegungslasten sind.

### **4 Hinweise**

- Es wird davon ausgegangen, dass die WEA W19 und W20 vor Ort (im Windpark Elbe) der in der Typenprüfung /2/ beschriebenen WEA entsprechen.
- Die Erstellung des generischen Lastrechnungsmodells nach Abschnitt 2.1 findet ausschließlich auf theoretischer Basis und nach Typenprüfung /2/ (inklusive zugehöriger Dokumente) statt.
- Die Standorteignungsbetrachtung der WEA W19 und W20 bezieht sich auf eine Gesamtlebensdauer von 20 Jahren.
- Eventuelle Veränderungen oder Modifikationen der WEA-Konfigurationen werden in der vorliegenden Betrachtung nicht berücksichtigt.
- Eine Begehung der WEA vor Ort fand nicht statt.
- Sollten die geplanten WEA vor Oktober 2021 /2/ in Betrieb genommen werden, verliert die Aussage zur Standorteignung (lastseitig) ihre Gültigkeit und es muss eine erneute Lastberechnung durchgeführt werden.
- Es liegt zum aktuellen Zeitpunkt lediglich ein Entwurf der gutachtlichen Stellungnahme /1/ vor. Sollten sich bei der Finalisierung der gutachtlichen Stellungnahme Änderungen ergeben, müssen diese (sofern sie Einfluss auf die Lastbe-

rechnung haben) innerhalb der Lastberechnung berücksichtigt werden, so dass eine erneute Betrachtung notwendig ist.

## **5 Modell- und Datenunsicherheiten**

Generell können Modellrechnungen die Realität nur annähernd erfassen und sind daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung zu verwenden. Die ermittelten Ergebnisse können aufgrund der Vereinfachungen nur Orientierungswerte sein und gelten nur unter den genannten Randbedingungen.

Die beschriebenen Betrachtungen fanden auf Basis eines generischen Lastrechnungsmodells statt, das nicht dem exakten Modell des Herstellers entspricht. Trotz sorgfältiger Betrachtung und Berücksichtigung der vorliegenden Datenbasis können aufgrund der reduzierten Datenbasis Unsicherheiten bestehen.

## **6 Rechtliche Aspekte**

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.