

**Gutachtliche Stellungnahme
zur lastenbasierten Überprüfung
der Standorteignung einer Windenergieanlage
des Typs ENERCON E-101
im Windpark Bliesdorf
mittels generischer Lastrechnungen**

Auftraggeber:

WP Bliesdorf UG (haftungsbeschränkt) u. Co. KG
Oldenburger Straße 49
26316 Varel

Revision 1

Hamburg, 02.09.2020

| Revision | Datum | Änderung |
|-----------------|--------------|--------------------------------------|
| 0 | 27.08.2020 | Erste Ausgabe |
| 1 | 02.09.2020 | Redaktionelle Änderung (Lebensdauer) |

Gegenstand: Lastenbasierte Überprüfung der Standorteignung der Bestandsanlage WEA 3 (nach /1/) des Typs ENERCON E-101 (nach /2/ und /3/) innerhalb des Windparks Bliesdorf mittels generischem Lastrechnungsmodell

Referenz-Nr.: 2020-ERS-218

Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:

- /1/ Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG: Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Körnick-Schashagen Erweiterung; Referenz-Nr.: F2E-2020-TGH-005, Revision 0, Hamburg, 22.06.2020, zuzüglich wake2e Bericht Referenz-Nr.: F2E-2020-TGJ-001, Revision 1, mit ergänzenden effektiven Turbulenzintensitäten für $m = 4$
- /2/ TÜV NORD Zertifizierung, Prüfamts für Baustatik von Windenergieanlagen: 1. Verlängerung der Typenprüfung Nr. T-7014/10 – 1; Typenentwurf: Betonfertigteilturm mit Stahlsektionen E-101/BF/97/17/01 für die Windenergieanlage ENERCON E-101, Nabenhöhe 99,00 m über GOK, Rotorblatt Typ E-101-1 und E-101-2, Windzone III gemäß DIBt-Richtlinie Fassung März 2004, Windzone 4, GK I gemäß DIN 1055-4 (03.2005), 17.02.2017
- /3/ TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Abteilung Windenergieanlagen: Gutachtliche Stellungnahme für eine Typenprüfung – Lastannahmen; Anlage: Windenergieanlage ENERCON E-101, Rotorblatt Typ E101-2, Nabenhöhe 99 m (E-101/BF/97/17/01), Lastannahmen für Turm und Gründung für Gebiete der Windzone 4, Geländekategorie I gemäß DIN EN 1991-1-4/NA:2010 bzw. Windzone III gemäß DIBt:2004; Prüfnummer: 2264357-1-d, 28.10.2014

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
- /5/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH: Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen; Ausgabe 2010; GL, Hamburg

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

| | | |
|---------------|---|---------------------|
| Verfasser | M. Richter, M. Sc. Sachverständiger | Hamburg, 02.09.2020 |
| Geprüft durch | N. Hackstein, M. Eng. Sachverständiger | Hamburg, 02.09.2020 |

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

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 bestehende WEA 3 (ENERCON E-101, 3,05 MW, 99,0 m NH) wird 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 Lastrechnungsmodellendaten für die zu bewertende WEA (WEA 3 nach /1/, beschrieben in /2/ und /3/) 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/ und /3/) 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 /3/ entnommen und sind in Tabelle 1 auszugsweise abgebildet:

| | | WEA 3 |
|---|-----------------|---------------|
| WEA-Typ | | ENERCON E-101 |
| Nennleistung | | 3.050 kW |
| Nabenhöhe (NH) | | 99,0 m |
| Rotordurchmesser | | 101,0 m |
| Rotornendrehzahl | | 14,5 rpm |
| Einschaltwindgeschwindigkeit | | 3,0 m/s |
| Nennwindgeschwindigkeit | | 12,2 m/s |
| Abschaltwindgeschwindigkeit | | 34,0 m/s |
| Leistungsregelung | | Pitch |
| 1. Eigenfrequenz Turm | starr | 0,37 Hz |
| | elastisch | 0,34 Hz |
| 1. Eigenfrequenz Blatt | Schlagrichtung | 0,92 Hz |
| | Schwenkrichtung | 1,22 Hz |
| Rotor-Konuswinkel | | 0° |
| Rotorachsneigung | | 5° |
| Turmkopfmasse | | 240.116 kg |
| Turmkopfschwerpunkt (vor der Turmachse) | | 3,85 m |
| Nabenmasse | | 75.200 kg |
| Blattmasse | | 15.297 kg |
| Blattverstellbereich | | 1,0° - 94,5° |

Tabelle 1: Technische Daten ENERCON E-101

2.2 Rekonstruktion der BF-Lasten der Auslegung des WEA-Typs

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 | III |
| Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit | 8,5 m/s |
| Formparameter k der Weibull-Funktion | 2,0 |
| Turbulenzintensitäten | Kurve A nach /4/ |

| | |
|---------------|-------------------------|
| Luftdichte | 1,225 kg/m ³ |
| Höhenexponent | 0,20 |

Tabelle 2: Umgebungsbedingungen Auslegung ENERCON E-101 /2/ und /3/, Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe bezogen

Die Aufstellung der Lastkollektive erfolgt für eine mittlere Jahreswindgeschwindigkeit und eine Wahrscheinlichkeitsdichte als Weibull-Verteilung nach Tabelle 2. Die angenetzte 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.

| | WEA 3 |
|--|-------------------------|
| Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit | 6,62 m/s |
| Formparameter k der Weibull-Funktion | 2,35 |
| Effektive Turbulenzintensitäten | siehe Tabelle 4 |
| Luftdichte | 1,243 kg/m ³ |
| Höhenexponent | 0,12 |

Tabelle 3: Standortspezifische Umgebungsbedingungen WEA 3 nach /1/, Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe bezogen

| Windgeschwindigkeit [m/s] | Effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} [%] (DIBt 2004) | |
|---------------------------|--|--------|
| | WEA 3 | |
| | $m=4$ | $m=10$ |
| 3 | 35,2 | 40,0 |
| 4 | 30,2 | 34,6 |
| 5 | 27,3 | 31,4 |
| 6 | 25,7 | 29,9 |
| 7 | 24,3 | 28,5 |
| 8 | 22,8 | 26,8 |
| 9 | 20,6 | 23,7 |
| 10 | 19,3 | 22,0 |
| 11 | 18,2 | 20,7 |
| 12 | 15,6 | 16,1 |
| 13 | 14,5 | 14,7 |
| 14 | 13,6 | 13,8 |
| 15 | 13,0 | 13,0 |
| 16 | 12,5 | 12,5 |

| Windgeschwindigkeit [m/s] | Effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} [%] (DIBt 2004) | |
|---------------------------|--|------|
| | WEA 3 | |
| | m=4 | m=10 |
| 17 | 12,1 | 12,1 |
| 18 | 11,7 | 11,7 |
| 19 | 11,4 | 11,4 |
| 20 | 11,1 | 11,1 |
| 21 | 11,0 | 11,0 |
| 22 | 11,0 | 10,9 |
| 23 | 10,9 | 10,9 |
| 24 | 10,8 | 10,8 |
| 25 | 10,8 | 10,8 |

Tabelle 4: Effektive Turbulenzintensitäten WEA 3 nach 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 3 /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 Ergebnisse und Bewertung

Zum lastenbasierten Nachweis der Standorteignung werden die standortspezifischen BF-Lasten (ermittelt mit den Umgebungsbedingungen aus den Tabellen 3 und 4) der WEA 3 (ENERCON E-101, 3,05 MW, 99,0 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.

Die zusammenfassenden Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt, basierend auf den Koordinatensystemen nach /5/. Für verschiedene Schnittstellen und Materialkennwerte werden hier die Verhältnisse der schadensäquivalenten BF-Lasten innerhalb der geplanten Windparkkonfiguration zu denen der Auslegung der WEA aufgeführt.

| Lastschnittstelle | Index nach /5/ | m | Verhältnis der schadensäquivalenten Betriebsfestigkeitslasten | | |
|--------------------|----------------------|----|---|-----|-----|
| | | | Mx | My | Mz |
| Blattanschluss | B | 4 | 96% | 71% | 88% |
| | | 10 | 97% | 78% | 84% |
| Nabe, mitrotierend | | 4 | 91% | 70% | 70% |
| | | 10 | 98% | 73% | 72% |
| Nabe, feststehend | N | 4 | 91% | 73% | 74% |
| | | 10 | 98% | 78% | 77% |
| Turmkopf | K | 4 | | 73% | 74% |
| | | 10 | | 77% | 76% |
| Turmfuß | F | 4 | | 86% | 74% |
| | | 10 | | 91% | 76% |

Tabelle 5: Vergleich der schadensäquivalenten BF-Belastungen (standortspezifisch / Auslegung der WEA) für die WEA 3

Da an keiner Lastschnittstelle die Auslegungs-BF-Lasten überschritten werden (>100%), ist der lastenbasierte Nachweis der Standorteignung erbracht.

Unter Berücksichtigung der Annahmen und Hinweise in den Kapiteln 4 und 5 ist die WEA 3 (ENERCON E-101, 3,05 MW, 99,0 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 der Auslegung sind, siehe Tabelle 5.

4 Hinweise

- Es wird davon ausgegangen, dass die WEA 3 vor Ort (im Windpark Bliesdorf) der in der Typenprüfung /2/ und den zugehörigen Dokumenten /3/ beschriebenen WEA entspricht. Ferner wird davon ausgegangen, dass sämtliche evtl. Komponententausche einwandfrei und die neuverbauten Komponenten zur Zeit des Einbaus typengerecht und neuwertig waren.
- 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 3 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.

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.