



**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 06.02.2024

Prüfnummer: 3931622-2-d

Objekt: **Bewertung der Standsicherheit**
Windenergieanlage
Enercon E-70 E4, 2300 kW
113 m Nabenhöhe über Geländeoberkante

Standort: Drewer-Altenrüthen (NRW)

Prüfgrundlage: DIN EN 61400-22:2011 und
DIBt 2012

Auftraggeber: Energieplan Ost West GmbH & Co. KG
Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg
Deutschland

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC

Seite 1 von 11

Die auszugsweise
Wiedergabe des
Dokumentes und die
Verwendung zu
Werbezwecken bedürfen
der schriftlichen
Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service
GmbH.

Die Prüfergebnisse
beziehen sich
ausschließlich auf die
untersuchten
Prüfgegenstände.



| Revision | Datum | Änderungen |
|----------|------------|-------------|
| 0 | 06.02.2024 | Erstfassung |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Unterlagen..... | 3 |
| 1.1 | Eingesehene Unterlagen..... | 3 |
| 2 | Bewertungsgrundlage..... | 3 |
| 3 | Beschreibung..... | 4 |
| 4 | Umfang der Bewertung..... | 7 |
| 5 | Bemerkungen..... | 7 |
| 5.1 | Betriebsfestigkeitslasten..... | 7 |
| 5.2 | Extremlastfälle..... | 7 |
| 6 | Gutachtliche Stellungnahme..... | 8 |
| | Auflage..... | 8 |
| | Annex 1: Lastsensoren und zugehörige Koordinatensysteme (KOS)..... | 9 |
| | Annex 2: Schädigungsäquivalente Lasten..... | 11 |



1 | Unterlagen

1.1 | **Eingesehene Unterlagen**

Folgendes Dokument wurde im Rahmen der Bewertung herangezogen:

| Ref. | Titel | erstellt von | Dokument-Nr. Rev. | Datum |
|------|--|--|---------------------------------------|------------|
| [1] | „Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Drewer-Altenrüthen“ | F2E Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG | 2023-F-068_P3-R0 - ungekürzte Fassung | 04.12.2023 |

2 | Bewertungsgrundlage

Die Beurteilung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Normen und Richtlinien:

| Ref. | Nummer | Titel |
|------|-------------------------|---|
| /1/ | DIBt 2012 | Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015 |
| /2/ | DIN EN IEC 61400-1:2019 | Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen |



3 Beschreibung

Der Auftraggeber plant am Standort „Drewer-Altenrüthen“ die Errichtung der folgenden Windenergieanlagen (WEA):

- 2 WEA des Typs Vestas V136 mit einer Nennleistung von 4200 kW und 149 m Nabhöhe über Geländeoberkante (WEA Nr. 1 und Nr. 2 in [1]),
- 1 WEA des Typs Vestas V162 mit einer Nennleistung von 6200 kW und 169 m Nabhöhe über Geländeoberkante (WEA Nr. 3 in [1]).

Aus dem Turbulenzgutachten [1] geht hervor, dass die Turbulenzbelastung der folgenden WEA durch den Zubau maßgeblich erhöht würde und die bei der Typenprüfung angesetzte Turbulenzintensität dieser Anlage überschritten wird:

- 1 WEA des Typs Enercon E-70 E4 mit einer Nennleistung von 2300 kW und 113 m Nabhöhe über Geländeoberkante (WEA Nr. 5 in [1]).

Zur Bewertung der Standsicherheit der betroffenen WEA soll daher im Folgenden eine standortspezifische Lastberechnung durchgeführt werden.

Die hier behandelte WEA des Typs Enercon E-70 E4 besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor und einer getriebelosen Generatoreinheit auf einem Betonturm. Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und mit variabler Rotordrehzahl geregelt.

| Turbineneigenschaften | |
|-------------------------------|-----------------|
| Windenergieanlage | Enercon E-70 E4 |
| Bezeichnung im Windpark | WEA Nr. 5 |
| Rotordurchmesser | 71 m |
| Nennleistung | 2300 kW |
| Nabhöhe über Geländeoberkante | 113 m |

Tabelle 1: Turbineneigenschaften Enercon E-70 E4

Im vorgelegten Dokument [1] werden die effektiven Turbulenzintensitäten für die im Bereich des Standortes „Drewer-Altenrüthen“ vorhandenen WEA für die Situation nach Zubau der geplanten zusätzlichen WEA ausgewiesen. Die Windbedingungen am Standort können dem Dokument [1] entnommen werden. Die Bewertung erfolgte im Vergleich zu Lasten, die sich nach Windbedingungen gemäß der folgenden Richtlinie ergeben:

- DIBt 2004, Windzone III (Enercon E-70 E4).

Die folgenden Bedingungen wurden für WEA Nr. 5 berücksichtigt.

| | Enercon E-70 E4 „Drewer-Altenrüthen“ | DIBt 2004, Windzone III (Auslegung) |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Jährliche mittlere Windgeschwindigkeit | 6,31 m/s | 8,5 m/s |
| Vertikale Schräganströmung | 2,5° | 8° |
| Windgradient | 0,14 | 0,2 |
| Weibull Faktor (k) | 2,216 | 2 |
| Luftdichte | 1,198 kg/m ³ | 1,225 kg/m ³ |

Tabelle 2: Windbedingungen WEA Nr. 5

Im Folgenden sind die in [1] ermittelten Turbulenzintensitäten für die in Tabelle 1 aufgelistete WEA im Bereich Drewer-Altenrüthen aufgeführt. Für die WEA Nr. 5 des Typs Enercon E-70 E4 werden konservativerweise die Turbulenzintensitäten im Zustand nach Zubau für die gesamte Entwurfslebensdauer angesetzt. Dabei werden effektive Turbulenzintensitäten auf Basis von $m = 10$ berücksichtigt.

| Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe [m/s] | Effektive Turbulenzintensität [%] | | |
|--|-----------------------------------|------------|-----------|
| | vor Zubau | nach Zubau | Auslegung |
| 3 | - | 37,2 | 42,0 |
| 5 | - | 33,4 | 30,0 |
| 7 | - | 29,0 | 24,9 |
| 9 | - | 25,6 | 22,0 |
| 11 | - | 21,3 | 20,2 |
| 13 | - | 18,3 | 18,9 |
| 15 | - | 14,7 | 18,0 |
| 17 | - | 13,6 | 17,3 |
| 19 | - | 13,0 | 16,7 |
| 21 | - | 12,7 | 16,3 |
| 23 | - | 12,5 | 15,9 |
| 25 | - | 12,4 | 15,6 |

Tabelle 3: Turbulenzintensitäten WEA Nr. 5

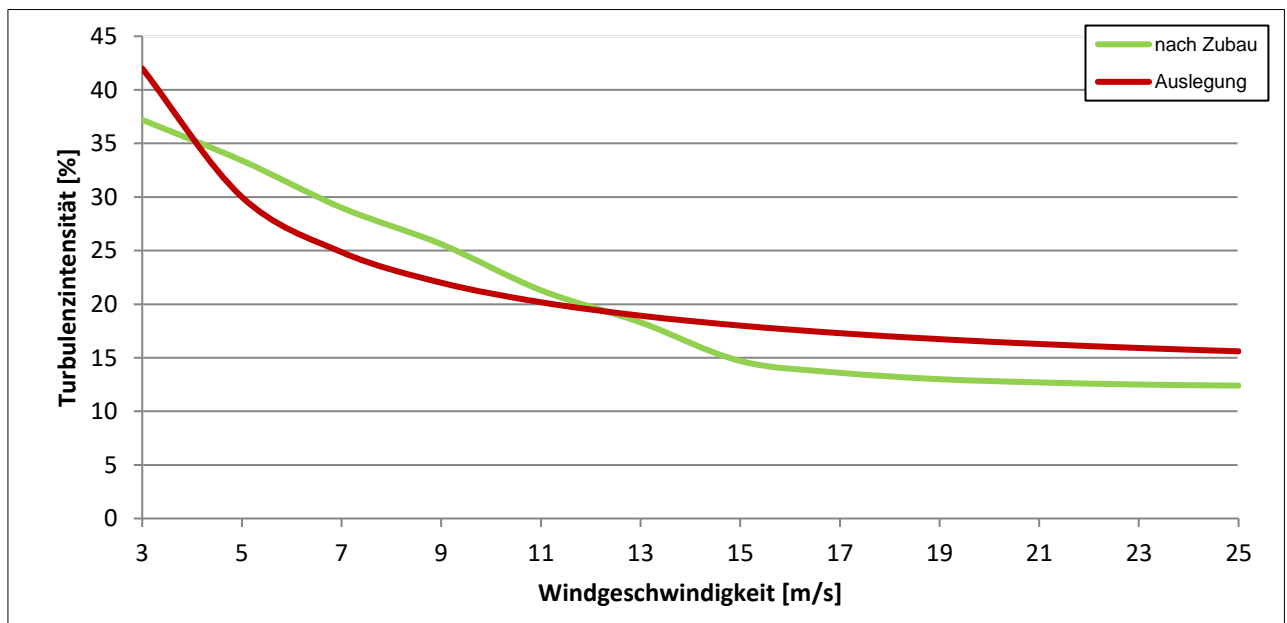


Abbildung 1: Turbulenzintensitäten grafisch WEA Nr. 5

Die Berechnungen für die in Tabelle 1 aufgelistete WEA wurden gemäß standortspezifischen Windbedingungen und gemäß in Tabelle 2 angegebenen Auslegungsbedingungen anhand eines generischen aeroelastischen Simulationsmodells durchgeführt. Dabei wurden die Anforderungen der Richtlinien /1/ und /2/ zur Durchführung von Lastberechnungen berücksichtigt. Es handelt sich hierbei um einen "Lastvergleich der Betriebsfestigkeitslasten" im Sinne der DIBt-Richtlinie (Fassung März 2015), Kapitel 16.2.c. Der Umstand, dass der Vergleich nicht anhand des Originalmodells des Herstellers durchgeführt wurde, sondern anhand eines generischen Modells, wurde durch die Verwendung von Sicherheitsaufschlägen auf die Standortlasten berücksichtigt. Dadurch ergibt sich ein konservatives Ergebnis der Bewertung im Vergleich zum Nachweis durch den Hersteller.



4 Umfang der Bewertung

Die Ergebnisse der durchgeführten Lastberechnungen für Windbedingungen gemäß Auslegung (siehe Auflage) und gemäß standortspezifischen Windbedingungen wurden miteinander verglichen. Die Windbedingungen inklusive der Windparkeffekte (Nachlauferturbulenz) am Standort „Drewer-Altenrüthen“ wurden [1] entnommen und als richtig angenommen. Eine erneute Prüfung dieser Werte fand im Rahmen der vorliegenden Bewertung nicht statt.

5 Bemerkungen

Für die Bewertung der Standsicherheit wurde davon ausgegangen, dass die zu bewertende Anlage über die gesamte Entwurfslebensdauer mit den Turbulenzintensitäten im Zustand nach Zubau betrieben wird. Der genaue Zeitpunkt der Inbetriebnahme dieser zu bewertenden WEA ist daher unerheblich für die Aussage der vorliegenden Bewertung.

5.1 Betriebsfestigkeitslasten

Die Betriebsfestigkeitslasten wurden gemäß den Vorgaben aus /1/ und /2/ ermittelt. Dabei wurden materialabhängig inverse Wöhlerliniensteigungen von 4, 7 und 10 berücksichtigt.

Die relative Änderung der Lasten auf Grund der gegenüber der Auslegung unterschiedlichen Windbedingungen wurden durch den Vergleich von Schädigungsäquivalenten ermittelt.

Die Ergebnisse der Lastvergleiche finden sich in tabellarischer Form in Anhang 2.

5.2 Extremlastfälle

Die vorliegende Bewertung umfasst nur den Vergleich der Betriebsfestigkeitslasten. Gemäß [1] liegen keine Überschreitungen der für die Extremlasten relevanten Auslegungsparameter am Standort vor.



6 Gutachtliche Stellungnahme

Im Rahmen der vorliegenden Bewertung wurde für die folgende WEA unter Verwendung der in [1] dargestellten Turbulenzintensitäten und weiteren Windbedingungen Lastberechnungen durchgeführt:

- 1 WEA des Typs Enercon E-70 E4 mit einer Nennleistung von 2300 kW und 113 m Nabenhöhe über Geländeoberkante (WEA Nr. 5 in [1]).

Dabei wurden die Anforderungen der Richtlinien /1/ bis /2/ berücksichtigt.

Enercon E-70 E4 „Drewer-Altenrüthen“ (WEA Nr. 5)

Die festgestellte Turbulenzerhöhung der Anlage WEA Nr. 5 des Typs Enercon E-70 E4 mit einer Nabenhöhe über Geländeoberkante von 113 m wird in der Gesamtbetrachtung über 20 Jahre durch das im Vergleich zur Auslegung niedrigere Jahreswindmittel am Standort kompensiert. An den für die Standsicherheit der WEA maßgeblichen Laststationen ergeben sich durch die zusätzlichen Turbulenzen über einen Gesamtzeitraum von 20 Jahren **keine Lasterhöhungen** gegenüber den Windbedingungen gemäß der Richtlinie DIBt 2004, Windzone III, welche für die Auslegung zu Grunde gelegt wurde (siehe Auflage).

Die Standsicherheit über den Betriebszeitraum von 20 Jahren der im vorliegenden Bericht betrachteten WEA des Typs Enercon E-70 E4 wird durch die Errichtung der geplanten WEA und die damit verbundene zusätzlich induzierte Turbulenzintensität (untersucht in [1]) nicht gefährdet. Die WEA Nr. 5 kann ohne eine sektorielle Einschränkung der neu errichteten WEA betrieben werden.

Die nachfolgende Auflage ist zu beachten:

Auflage

1. Die Aussage der vorliegenden Stellungnahme gilt unter der Voraussetzung, dass der Genehmigung der betrachteten WEA Nr. 5 des Typs Enercon E-70 E4 mit einer Nabenhöhe von 113 m eine Typenprüfung mit einer jährlichen mittleren Windgeschwindigkeit gemäß DIBt 2004, Windzone III zugrunde lag (siehe Tabelle 2).

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

Abteilung Windenergieanlagen

Bewertung

Evaluierung

J. Stauber

C. Schumacher

Annex 1: Lastsensoren und zugehörige Koordinatensysteme (KOS)

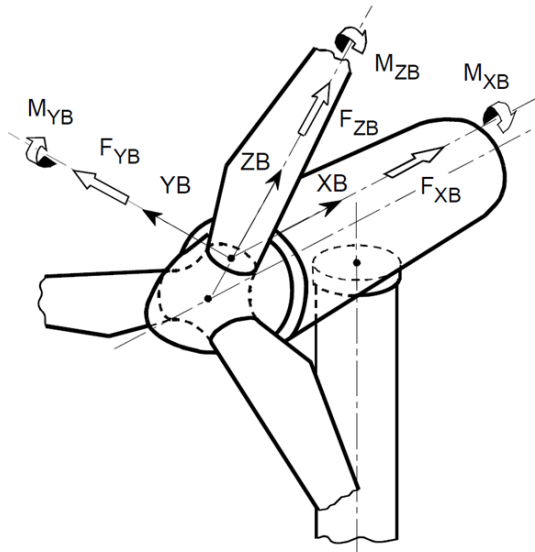


Abbildung 2: Koordinatensysteme Blattlasten, nach GL:2010

Die Blattlasten werden an der Anschlussstelle zur Nabe in Form der Momente in Richtung der Rotorachse (M_{XB}), in Richtung der Pitch-Achse (M_{ZB}) und senkrecht zu den beiden erstgenannten (M_{YB}) ausgewertet. Die Auswertung geschieht im nabenfesten Koordinatensystem (Abbildung 2).

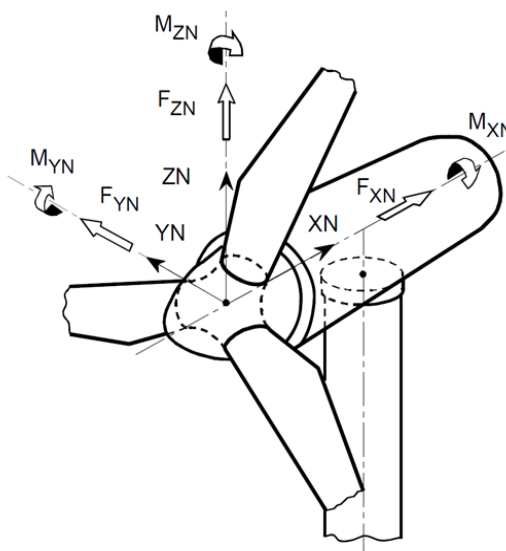


Abbildung 3: Koordinatensysteme Nabe, nach GL:2010

Die Nabelasten werden an der Schnittstelle zwischen Blatt- und Rotorachse in Form der Momente in Richtung der Turm-Achse (M_{ZN}) und in der Rotorebene, senkrecht zur Turmachse (M_{YN}) ausgewertet. Die Auswertung geschieht im feststehenden Koordinatensystem (Abbildung 3).

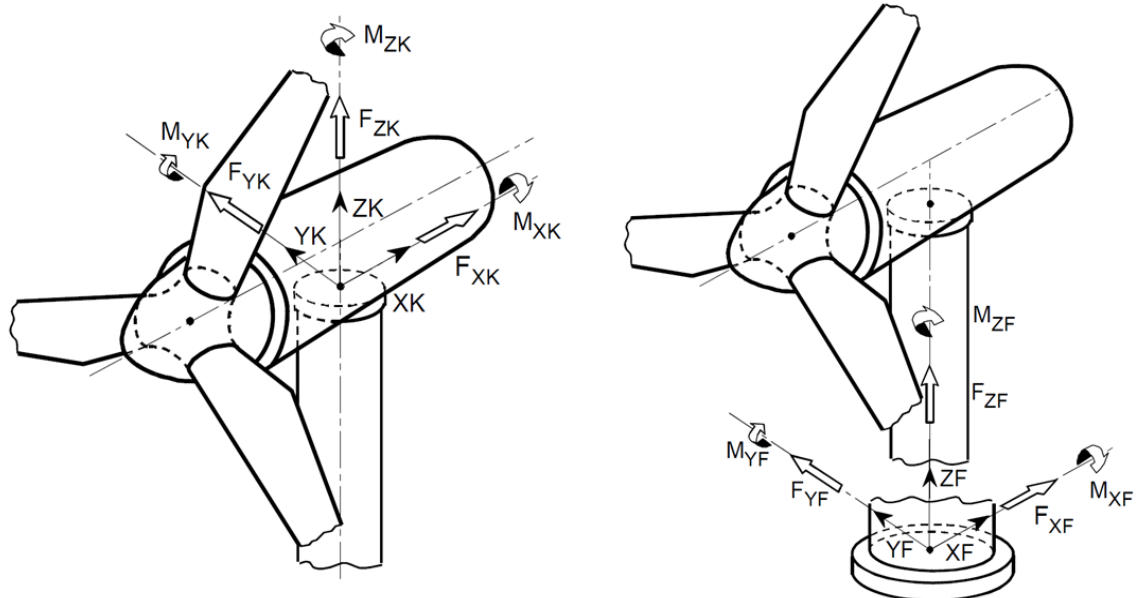


Abbildung 4: Koordinatensysteme Turmkopf (links) und Turmfuß (rechts), nach GL:2010

Die Turmlasten werden im Zentrum des obersten und untersten Querschnitts des Turmes in Form der Momente in Richtung der Turm-Achse (M_{ZK}) und in der Rotorebene, senkrecht zur Turmachse (M_{YK} , M_{YF}) ausgewertet. Die entsprechenden Koordinatensysteme sind für Turmkopf (links) und Turmfuß (rechts) in Abbildung 4 dargestellt.



Annex 2: Schädigungsäquivalente Lasten

Im Folgenden sind die Werte der schädigungsäquivalenten Lasten an den für die Beurteilung der Standsicherheit der Windenergieanlage maßgeblichen Laststationen angegeben. Die ermittelten Werte wurden normiert und beziehen sich auf diejenigen Lasten, die sich gemäß Auslegungsbedingungen ergeben. Damit zeigt ein Wert größer als 1 ein Überschreiten der Last im Vergleich zur Auslegung an der jeweiligen Laststation an.

Enercon E-70 E4 (WEA Nr. 5)

Gesamtbetrachtung über Betriebszeitraum von 20 Jahren:

| Prognose DEL 20a | | | | | | | | |
|------------------|------------------------|--------|--------|-----------|--------|----------|--------|---------|
| | Blattwurzel, nabenfest | | | Nabe, fix | | Turmkopf | | Turmfuß |
| Wöhler-linie [-] | Mx [-] | My [-] | Mz [-] | My [-] | Mz [-] | My [-] | Mz [-] | My [-] |
| 4 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 |
| 7 | | | ≤1 | | ≤1 | ≤1 | ≤1 | ≤1 |
| 10 | ≤1 | ≤1 | | ≤1 | | | | |