

Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der

Vestas

V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 25 Jahre)

für

Windzone S

Projekt-Nr. 10321696/001

Berichts-Nr. L-05629-A052-4 Rev.4

Datum: 2021-12-10

Adresse:

DNV GL Energy
Renewables Certification
Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH
Brooktorkai 18
20457 Hamburg
Deutschland

Auftraggeber:

**Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
DK - 8200 Aarhus N**

VERSIONSGESCHICHTE

| <i>Rev. Nr.</i> | <i>Datum</i> | <i>Grund für Herausgabe</i> | <i>Erstellt von</i> | <i>Geprüft von</i> |
|-----------------|--------------|--|---------------------|--------------------|
| 3 | 2021-08-20 | Vestas Lastrevision L11.6 und Reglerversion CTR63, 2020.26 geprüft. | GREU | MARWOL |
| 4 | 2021-12-10 | Neue Leistungsstufe mit 6,2MW (L1), bisherige Leistungsstufen bis 6,0MW unverändert zu rev.3 | GREU | MARWOL |

1.0 PRÜFUNTERLAGEN

Dokumente

| <i>Dokument Nr.</i> | <i>Version</i> | <i>Titel</i> |
|---------------------|----------------|--|
| [1] 0099-2144 | 11 | Load Spectrum EV162-5.4/5.6/6.0/6.2MW, EnVentus, 50/60Hz, GS |
| [2] 0088-4552 | 06 | Combine tower loads V162-5.6 MW, EnVentus, DIBt, HH 169 m 50/60 Hz, GS |
| [3] 0088-7315 | 03 | Combine foundation loads V162-5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 169 m 50/60 Hz, GS |
| [4] 0098-7766 | 05 | Tower Load Comparison HA2A600/HA2A900 EV162-5.4/5.6/6.0/6.2MW EnVentus WZ2GK2(S), HH166/169m (Hybrid towers) |

Referenzdokumente (informativ):

| <i>Dokument Nr.</i> | <i>Version</i> | <i>Titel</i> |
|---------------------|----------------|---|
| [5] 0086-8845 | 04 | IEC61400-1 and DIBt 2012 Vestas design load case interpretations – Generic document |
| [6] 0086-8843 | 06 | EnVentus V150 and V162 – Operational properties |
| [7] 0087-9254 | 06 | EnVentus V150_V162 Rotor lock loads |

Zeichnungen (informativ)

| <i>Dokument Nr.</i> | <i>Version</i> | <i>Titel</i> |
|---------------------|----------------|--|
| Nicht verfügbar | - | Hybrid Tower HA2A900 EV162-5.4/5.6/6.0MW, EnVentus, DIBt (S), 169m |

2.0 BEWERTUNGSGRUNDLAGEN

2.1 Umweltbedingungen

Die Windbedingungen der Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW HH169 Turbinen sind entsprechend der Windklasse S, gemäß DIBt.

| | |
|---|--|
| | V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW HH169, HA2A900 DIBt S |
| Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe | 7,50 m/s |
| Weibull k-Parameter [-] | 2,48 |
| 50-Jahres-Wind, Vm50 (10 min) in Nabenhöhe | 37,60 m/s |
| 1-Jahres-Wind, Vm1 (10 min) in Nabenhöhe | 30,10 m /s |
| Luftdichte | 1,224 kg/m ³ |
| Geländeneigung | 8° |
| Geländerauigkeitsexponent (normale Bedingungen) | 0,27 |
| Geländerauigkeitsexponent (extreme Bedingungen) | 0,11 |
| Umgebungsturbulenzintensität I nach IEC 61400-1 für NTM (Betriebsfestigkeitslasten) | Siehe Tabelle 2-1 |
| Umgebungsturbulenzintensität I _{ref} nach IEC 61400-1 für ETM | 16 % |
| Lastsicherheitsbeiwert für DLC8.1 (Sicherheitsklasse S) | $\gamma_F = 1,35$ |

Der Einfluss der Turbulenzintensität aufgrund der Nachlaufströmung benachbarter Anlagen ist in den o.g. Angaben nicht berücksichtigt.

25a

| Wind speed | NTM Fatigue | NTM Extreme |
|------------|-------------|-------------|
| [m/s] | [-] | [-] |
| 2 | 0.560 | 0.462 |
| 4 | 0.340 | 0.280 |
| 6 | 0.281 | 0.219 |
| 8 | 0.243 | 0.189 |
| 10 | 0.216 | 0.170 |
| 12 | 0.168 | 0.158 |
| 14 | 0.147 | 0.150 |
| 16 | 0.136 | 0.143 |
| 18 | 0.129 | 0.138 |
| 20 | 0.124 | 0.134 |
| 22 | 0.122 | 0.131 |
| 24 | 0.118 | 0.128 |
| 26 | 0.116 | 0.126 |
| 28 | 0.114 | 0.124 |
| 30 | 0.112 | 0.122 |
| 32 | 0.110 | 0.120 |
| 34 | 0.109 | 0.119 |
| 36 | 0.108 | 0.118 |
| 41 | 0.105 | 0.114 |

Tabelle 2-1 Turbulenzintensität für NTM (Entwurfslebensdauer 25 Jahre).

2.2 Normen und Richtlinien

- DIBt-Richtlinie: „Richtlinie für Windenergieanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“; Fassung Oktober 2012.

2.3 Daten für die Lastannahmen

| | |
|------------------|---|
| | V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW DIBt S, HA2A900 |
| Nennleistung: | 5,4MW / 5,6MW / 6,0MW / 6,2MW |
| Rotordurchmesser | 162 m |

| | |
|--|---|
| Einschaltgeschwindigkeit | 3 m/s |
| Nennwindgeschwindigkeit | 10,0m/s / 10,2m/s / 10,5m/s / 10,7m/s |
| Abschaltgeschwindigkeit | 24,0 m/s |
| Nennrotordrehzahl | 9,33 U/min (5.4MW/5.6MW/6.0MW); 9,53 U/min (6.2MW) |
| Nabenhöhe | 169 m |
| Hybrid-Turm mit 1. Biegeeigenfrequenz | 0,186 Hz |
| Entwurfslebensdauer | 25 Jahre |
| Version des Reglers | 2020.26 |
| Erdbebenzone 3; Bedeutungskategorie II, Baugrundklassen A, B, C mit den geologischen Untergrundklassen R, T, S nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 | |

3.0 PRÜFBEMERKUNGEN

Extremlastfälle:

Die Übereinstimmung der Extremlastfälle wurde mit der DIBt-Richtlinie „Richtlinie für Windenergieanlagen: Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“; Oktober 2012 bei Anwendung standortspezifischer Windbedingungen geprüft. Die Extremlasten sind in den Vestas Wind System A/S Berichten gemäß DIBt-Richtlinie einschließlich Lastsicherheitsbeiwerten aufgeführt.

Erdbebenlasten wurden nach DIN EN 1998-1/2010-10 und NA/2011-01 für Erdbebenzone 3, Bedeutungskategorie II, für die Untergrundverhältnisse nach Tabelle NA.4 im nationalen Anhang zur DIN EN 1998-1 berechnet und geprüft.

Betriebsfestigkeit:

Die Lastannahmen für den Betriebsfestigkeitsnachweis basieren auf die DIBt-Richtlinie: „Richtlinie für Windenergieanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“; Fassung Oktober 2012. Die Lastkollektive wurden mit dem Vestas Turbinen Simulator (VTS), Version VTS002, des aeroelastischen PC-Programmes Flex5 berechnet und für den Turmkopf, den Turmfuß sowie für unterschiedliche Turmschnitte angegeben. Die Fundamentlasten sind gesondert im Dokument [3] aufgeführt.

Die Berechnung der Betriebsfestigkeitslasten wurde unter Berücksichtigung eines dreidimensionalen Turbulenzfeldes durchgeführt.

4.0 SCHLUSSBEMERKUNG

Die aufgeführten Lastannahmen werden für die Windenergieanlagen V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW der Firma Vestas mit einer Nabenhöhe von 169 m, für DIBt S angenommen.

Wirbelerregte Querschwingungen auf die Turmlasten wurden nicht berücksichtigt. Einwirkungen daraus sollten bei der Turmauslegung betrachtet werden. Das Inbetriebnahmehandbuch muss die Verhinderung unzulässiger Turmschwingungen, wie von Vestas definiert, beschreiben. Die Transportlasten wurden nicht berücksichtigt.

Erdbebenlasten wurden nach DIN EN 1998-1/2010-10 und NA/2011-01 für Erdbebenzone 3, Bedeutungskategorie II, für die Untergrundverhältnisse nach Tabelle NA.4 im nationalen Anhang zur EN 1998-1 berechnet und geprüft.

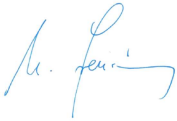
Es wurden keine Ride-Through Lastfälle (Stützung der Netzspannung durch Windenergieanlagen bei Netzstörung) bei Spannungsabfall definiert oder berechnet. Ride-Through Lastfälle bei Spannungsabfall sind nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

Turmzeichnungen lagen für die Prüfung nicht vor. Die Überprüfung des Turm-Simulationsmodells zur Berechnung der Betriebsfestigkeits- und Extremlasten wurde mittels Vergleich zu den Turmmodelldaten im Turmdokument [2] vollzogen.

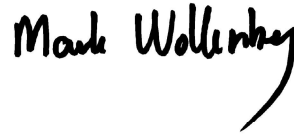
Die Lasten sind gültig unter folgenden Bedingungen:

- Beiträge aus Eigengewichtsmomenten aufgrund von Schiefstellung der Turmachse sind nicht in den ausgewiesenen Lasten enthalten. Diese Lasten müssen später den extremalen Auslegungslasten für Turm- und Gründung gemäß Anforderungen in DIBt [1], Abschnitt 7.4.1 hinzugefügt werden.
- die aufgeführten Windgeschwindigkeiten in Abschnitt 2.1 müssen die Windgeschwindigkeiten gemäß DIN EN1991-1-4/NA abdecken.
- für eine Umgebungsturbulenzintensität wie in Abschnitt 2 gegeben
- bei Mindestabständen von Windturbinen zu einander, solange die folgenden Bedingungen laut Kapitel 7.3.3 der DIBt-Richtlinie erfüllt sind.
 - der Abstand der Turmachsen benachbarter Windenergieanlagen darf den 8-fachen Rotordurchmesser für $V_{m50} \leq 40$ m/s auf Nabenhöhe nicht unterschreiten
 - der Abstand der Turmachsen benachbarter Windenergieanlagen darf den 5-fachen Rotordurchmesser für $V_{m50} \geq 45$ m/s auf Nabenhöhe nicht unterschreiten.
 - Zwischenwerte von V_{m50} ist der Abstand linear zu interpolieren.
- für einen Eigenfrequenzbereich des Turmes von 0,181 Hz bis 0,203 Hz, welcher eine Abweichung von der zugrunde gelegten ersten Turmeigenfrequenz von 0,186 Hz erlaubt.
- für einen Mindestwert der (dynamischen) Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament von ≥ 95 GNm/rad, siehe Tabelle 5.1 in Dokument [3].
- Dass sich das Lastniveau bei gleichen externen Bedingungen nach dem Typenzertifizierungsprozess nicht erhöht.

Die Richtigkeit der vorgelegten Lasten, sowie die Übereinstimmung der Lasten mit den Anforderungen der DIBt "Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung", Fassung Oktober 2012 wurden anhand von Plausibilitätsprüfungen unter Berücksichtigung der dimensionierenden Eingangsdaten geprüft und soweit vorliegend bestätigt.



Meike Greusing
Gutachterin



Mark Wollenberg
Projektleiter

Anlage 1: Lasten Rotor-Gondel-Baugruppe (39 Seiten)

Anlage 2: Turm/Fundament Lastvergleich von aktuellem Lastset zu dem in Revision 0 geprüften Lasten,
(Anlage 3 und 4) (27 Seiten)

Anlage 3: Lasten Turm (59 Seiten)

Anlage 4: Lasten Fundament (237 Seiten)