

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN



Industrie Service

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.

Prüfbericht für eine Typenprüfung

vom: 07.05.2018

Prüfnummer: 2839951-1-d

- 1. Objekt** Stahlrohrturm mit 166 m Nabenhöhe,
für Windenergieanlagen vom Typ
Vestas V150-4.0/4.2 MW-Mk3 LDST für
Windzone S, Geländekategorie II
Erdbebenzone 3

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

Hersteller: Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

**Konstruktion
und statische
Berechnung:** Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

Auftraggeber: Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

Gültig bis: 06.05.2023

Datum: 07.05.2018

Unsere Zeichen:
IS-ESW2-MUC/DRA

Dokument:
2839951-1-d_V150-
4.0_4.2MW_Mk3_HH166_DIBL
S_WZ2GK2.docx

Bericht Nr. 2839951-1-d

Das Dokument besteht aus
8 Seiten.
Seite 1 von 8

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.



Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
USt-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter www.tuev-sued.de/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vors.)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),
Christian Bauerschmidt, Thomas Kainz

Telefon: +49 89 5791-1994
Telefax: +49 89 5791-2022
www.tuev-sued.de/is



TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von
Windenergieanlagen
Westendstrasse 199
80686 München
Deutschland

Rev. Nr.	Datum	Änderungen
0	07.05.2018	Erstfassung

2. Prüfunterlagen

2.1 Geprüfte Unterlagen

Zur Prüfung lagen folgende Unterlagen vor, die mit rundem Prüfstempel versehen wurden:

- [1] "Tower Strength Calculation Hub Height 166m For Vestas Wind Turbine V150-4.0 MW-Mk3 DIBt S (WZ2GK2) LDST", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 36 mit Anhang A1 und A2, Dokument: 0071-8698, Rev. 0, vom 29.01.2018.
- [2] Zeichnung "T96A600 – V150-4.0/4.2 MW-MK3 NH166 DIBt S (WZ2 GK2) LDST", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnungs Nr.: 0072-0477, Rev. 0, vom 14.02.2018.
- [3] „Extreme and fatigue assessment of fillet welds along vertical flanges for Tower V150-4.0 MW HH166 – DIBTS - LDST“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 19, Dokument: 0071-9350, Rev. 0, vom 29.01.2018.
- [4] „LDST – FE Analysis on the Vertical Joints of the V150-4.0/4.2 MW Mk3 HH166 DIBt S Tower“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 103, Dokument: 0072-1579, Rev. 0, , vom 13.02.2018.

2.2 Unterlagen zur Information

Zur Information lagen folgende Unterlagen vor:

- [5] "Combine Tower loads V150-4.0/4.2 MW, Mk3E, WZ2GK2(S), 166 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 15, Dokument: 0071-9514, Rev. 0, vom 08.01.2018.
- [6] "Combine Foundation loads V150-4.0/4.2 MW, MK3E, WZ2GK2(S), 166 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 63, Dokument: 0071-9515, Rev. 1, vom 26.03.2018.
- [7] "Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V150-4.0MW / 4.2MW mit 166 m Nabenhöhe für Windzone WZ2GK2 (S)", erstellt von DNVGL, Seite 1 bis 6, Bericht: L-03642-A052-0, Rev. 2, vom 04.05.2018.
- [8] "Buckling Strength of Door Region – V136-3.45 MW-Mk3A HH149-DIBT S, LDST Tower", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 17, Dokument: 0056-8796, Rev. 0, vom 21.01.2016.
- [9] "Large Diameter Steel Tower – FE Analysis on the Buckling Strength of the V136-3.45MW HH 149 DIBtS LDST Tower", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 21, Dokument: 0057-0443, Rev. 0, vom 22.01.2016.
- [10] "Prüfbericht für eine Typenprüfung Stahlrohrturm mit 149 m Nabenhöhe für Windenergieanlagen vom Typ Vestas V136-3.45/3.60 MW LDST für Windzone S, Erdbebenzone 3", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Seite 1 bis 9, Dokument: 2494662-1-d, Rev. 2, vom 13.11.2017.

- [11] "Design Guidelines for Calculation of Tubular Towers DIBt version", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 40,
Dokument: 0014-2731, Rev. 2, vom 02.04.2014.
- [12] "Tower Top Flange FE analysis 4MW platform Mk3e", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Seite 1 bis 42,
Dokument: 0072-2517, Rev. 1, vom 13.02.2018.
- [13] Zeichnung "Flange Ø3268/Ø3010x400", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 1 Seite,
Dokument: 75953283, Rev. 0, vom 14.02.2018.
- [14] "Verification Letter Tower Top Flange 4MW Platform Mk3e", erstellt von DNV GL, Seite 1 bis 3,
Dokument: LTR-03642-20180503, Rev. 0, vom 03.05.2018.

3. Normen und Richtlinien

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Fassung Oktober 2012.
- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“ mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010.
- /3/ DIN EN 1991-1-4:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“ mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-4/NA:2010.
- /4/ DIN EN 1993-1-1:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2010.
- /5/ DIN EN 1993-1-6:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010.
- /6/ DIN EN 1993-1-8:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010.
- /7/ DIN EN 1993-1-9:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-9/NA:2010.
- /8/ DIN EN 1993-1-10:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-10/NA:2010.
- /9/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011.

- /10/ DIN EN 1090-2:2011 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011“.
- /11/ DIN EN 14399-4:2006 „Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2005“.
- /12/ DIN EN 14399-6:2006 „Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 6: Flache Scheiben mit Fase; Deutsche Fassung EN 14399-6:2005 + AC:2006“.
- /13/ DAST – Richtlinie 021:2013 “Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“

4. Geltungsbereich

Dieser Teilbericht der Typenprüfung umfasst die Prüfung der in den technischen Unterlagen dargestellten und nachgewiesenen Bauteile auf Basis der in Abschnitt 3 genannten Prüfgrundlagen für den Stahlrohrturm der Windenergieanlage vom Typ „V150-4.0/4.2 MW-Mk3 LDST mit Nabenhöhe 166 m“.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten Unterlagen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich.

Weitere Prüfungen wie die Bauausführung, Blitzschutz, die Überprüfung der Standorteignung und die Turmeinbauten sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lastannahmen, Randbedingungen, Ausführung und Anlagensteuerung, die Einfluss auf die Standsicherheit haben, sind durch diesen Bericht nicht abgedeckt und erfordern eine Überarbeitung der Berechnung und eine erneute Prüfung.

Es wird davon ausgegangen, dass Hersteller und Betreiber ihren Verpflichtungen zur Gewährleistung des sicheren Betriebes der Anlage nachkommen und über im Betrieb festgestellte, auslegungsrelevante Auffälligkeiten, wie z.B. Schwingungsphänomene, berichten und gegebenenfalls veranlassen, dass entsprechende Untersuchungen durchgeführt und neue Berechnungen zur Prüfung vorgelegt werden.

5. Baubeschreibung

Der Stahlrohrturm für die Windenergieanlagen vom Typ V150-4.0/4.2 MW-Mk3 mit 166 m Nabenhöhe besteht aus zwei zylindrischen und vier konischen Segmenten. Der Außendurchmesser des Turmes beträgt am Turmfußflansch 6,040 m und am Turmkopfflansch 3,258 m.

Die Segmente des Turms haben eine Länge von 19,720 m, 25,200 m, 31,080 m, 26,040 m, 28,560 m und 33,000 m. Die Stöße der Turmsegmente sind als L-Ringflanschverbindungen mit innenliegenden, vorgespannten Schrauben ausgeführt. Die Anbindung an das Fundament erfolgt über einen T-Ringflansch. Die Anbindung an das Turmkopflager erfolgt über einen L-Ringflansch.

Die untersten drei Turmsektionen sind längs in drei gleichgroße Segmente (3 x 120°) geteilt. Die Mantelbleche dieser Teilsegmente werden miteinander durch vertikale Flansche und innenliegende, vorgespannte Schrauben verbunden. Die Ringflansche der Teilsegmente einer Turmsektion werden nicht miteinander verbunden.

Damit die vertikalen Flansche von zwei aufeinanderfolgenden Turmsegmenten nicht übereinander liegen, sind diese in der Draufsicht zueinander verdreht in einem Winkel von 60° montiert.

Die Wanddicke des Turmes variiert zwischen 19,1 mm und 40,5 mm wie auf dem Konstruktionsplan [2] angegeben. Die Wanddickenstöße sind als Stumpfnähte ausgeführt.

Der Bereich der Türöffnung in der untersten Turmsektion ist mit einem 63 mm dicken Segmentblech über einen Winkel von 40° verstärkt.

Weitere Informationen zur Konstruktion können der Zeichnung [2] entnommen werden.

6. Lastannahmen

Die bemessenden Lasten für den Turm der Windenergieanlage vom V150-4.0/4.2 MW-Mk3 mit 166 m Nabenhöhe sind in Dokument [5] und [6] für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Betriebsfestigkeitsnachweis angegeben. In Dokument [7] werden diese Lasten bestätigt.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [5] auf Basis der DIN EN 1998-1 für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 in Deutschland abgedeckt.

Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

Turmkopfmasse V150-4.0/4.2 MW: ca. 214,5 t

Turm ab Unterkante Bodenflansch:
 (ohne Einbauten): ca. 551,0 t

7. Baustoffe

Turmwand	DIN EN 10025-2 - S355 J0 mit 3.1-Zeugnis nach DIN EN 10204 DIN EN 10025-3 – S420 N mit 3.1-Zeugnis nach DIN EN 10204
Verstärkung des Türsegments (t = 63 mm)	DIN EN 10025-2 - S355 J2 mit 3.1-Zeugnis nach DIN EN 10204
Ringflansche, Turmkopfflansch und Turmfußflansch	DIN EN 10025-3 - S355 NL mit 3.1-Zeugnis nach DIN EN 10204, zusätzl. DIN EN 10164 - Z25 für Flansche aus Blech
vertikaler Flansch (25x80 mm)	DIN EN 10025-2 - S355 J0 mit 3.1-Zeugnis nach DIN EN 10204
Aluminiumblech zwischen den vertikalen Flanschen (50x50 mm)	DIN EN 755-2 – AW 6082 T6

Schraubengarnituren

M24-10.9 gemäß DIN EN 14399 Teile 4 und 6 für vertikale Flansche

M36-10.9, gemäß DIN EN 14399 Teile 4 und 6 für Ringflansche

M48-10.9, M56-10.9 und M64-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 für Ringflansche

8. Prüfbemerkungen

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft.

Die vorliegenden Nachweise weisen für verschiedene Teilbereiche Auslastungen von ca. 100% sowohl für die Betriebs- als auch für die Extremlasten aus. Überschreiten die begutachteten Lasten die Lastannahmen gemäß [5] und [6], sind neue Nachweise zur Prüfung vorzulegen.

Die Prüfung der Ankerschrauben ist nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes.

Die Schweißnaht im Einflussbereich des Turmkopfflansches und die Festigkeit des Turmkopfflansches im Radius wurden anhand der Spannungskonzentrationsfaktoren aus Dokument [12] geprüft, die in Bericht [14] bestätigt werden. Weitere Informationen zur Geometrie des Turmkopfflansches können der Konstruktionszeichnung [13] entnommen werden. Der Nachweis der Schraubverbindung am Turmkopf zur Maschine ist nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes. Entsprechende Nachweise sind im Rahmen der Nachweise für die Maschine zu führen.

Die Schweißnähte der vertikalen Flansche unter Extremlast und Ermüdungslasten wurden anhand der Spannungskonzentrationsfaktoren aus dem Dokument [4] geprüft. Das Dokument [4] wird mit diesem Bericht ebenfalls bestätigt. Die Dokumente [8] und [9] wurden bereits mit dem Bericht [10] bestätigt.

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [7] angegebenen Gültigkeitsbereiches (0,131 Hz bis 0,144 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\varphi, \text{dyn}} = 80 \text{ GNm/rad}$ betragen. Die Lasten aus [5] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung von 5 mm/m, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m, sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von $k_{\varphi, \text{stat}} = 26,9 \text{ GNm/rad}$.

Die Eigenfrequenz liegt im Bereich der möglichen Erregerfrequenzen der Anlage. Daher ist eine betriebliche Schwingungsüberwachung vorzusehen, die mit dem Betriebs- und Sicherheitssystem der Anlage verbunden ist, siehe Auflage 3.

Gemäß Dokument [2] kann optional ein Schwingungsdämpfer bei der Fertigung des Turmes eingebaut werden.

Montage- und Bauzustände während der Wartung und der Installation wurden mit Ausnahme von wirbelerregten Querschwingungen in den Bauzuständen „Turm ohne Turmkopfmasse“ und „komplette Windenergieanlage außer Betrieb“ nicht geprüft.

Ein vorzeitiger Widerruf des Prüfberichtes bleibt dem Prüferamt für Standsicherheit für die Bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen vorbehalten.

9. Prüfergebnis

Die Berechnung und die zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den Turm entsprechen der Richtlinie für Windenergieanlagen (Fassung Oktober 2012) des DIBt und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Anforderungen an die Standsicherheit des Turmtragwerkes sind erfüllt, vorausgesetzt, die nachstehenden Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen Prüfberichte und Gutachten werden beachtet bzw. vollzogen.

Die Prüfung der technischen Unterlagen für den Turm ist hiermit abgeschlossen.

Auflagen

1. Der Turm der Windkraftanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [5] und [6] geeignet. Bei ungünstigeren Aufstellungsorten sind gegebenenfalls in Abstimmung mit dem Lastgutachter erneute statische Berechnungen anzustellen und zur Prüfung vorzulegen.
2. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in den Dokumenten [5] und [6] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
3. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen im Lastdokumenten [5] und [6] zu begrenzen.
4. Die in Abschnitt 8 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
5. Während der Montage ist der Bauzustand mit errichtetem 2. Turmsegment auf maximal 5 Tage zu begrenzen. Die Montage des 3., 4., 5. und 6. Turmsegments und der Gondel hat in einem Zug innerhalb von 2 Tagen zu erfolgen. Falls die zulässigen Zeiten überschritten werden oder die Gondel zu einem späteren Zeitpunkt vom Turm genommen wird, so sind geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.
6. Der Korrosionsschutz der Turmaußenseite (Turminnenseite) ist für eine Korrosivitätskategorie C4 (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Industrienähe mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre oder Meeresnähe mit hoher Salzbelastung ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie C5-I bzw. C5-M erforderlich. Für die Schutzdauer ist die Klasse „hoch“ gemäß DIN EN ISO 12944-5 anzusetzen, dies entspricht einer angestrebten Zeitspanne von mindestens 15 Jahren bis zur ersten planmäßigen Instandsetzungsmaßnahme aus Korrosionsschutzgründen.
7. Sämtliche in Dickenrichtung belastete Bauteile (z.B. Flansche und Zargen) müssen hinsichtlich der Dopplungsfreiheit nach EN 10160, Qualitätsklasse S2 und E2, oder einem äquivalenten Standard ultraschallgeprüft sein.
8. Der Stahlrohrturm darf nur von Herstellern mit einer Qualifizierung gemäß DIN EN 1090-1 für mindestens Ausführungsklasse EXC3 gefertigt werden.
9. Die Fertigung des Stahlrohrturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.

10. Die planmäßige Vorspannung der Schrauben ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben in /1/ erneut zu kontrollieren und ggf. nachzuspannen.
11. Es ist für jeden Standort sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen eingehalten wird.
12. Zwischen den Höhen 0,000 m und 7,430 m, 17,775 m und 21,665 m, 42,175 m und 46,860 m, 74,025 m und 76,000 m sowie 141,610 m und 163,600 m müssen die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) mindestens der Kerbfallklasse 80 gemäß DIN EN 1993-1-9 entsprechen. Für alle anderen Höhen müssen die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile mindestens der Kerbfallklasse 90 gemäß DIN EN 1993-1-9 entsprechen.
13. Die Anforderungen an die wiederkehrende Prüfung gemäß der Richtlinie für Windenergieanlagen (Fassung Oktober 2012) des DIBt sind zu beachten.
14. Die Prüfung der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) sind in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die Zeichnungen und die Berechnungen zu einer erneuten Überprüfung, in Hinsicht auf geänderte Vorschriften oder Richtlinien, wieder vorzulegen.

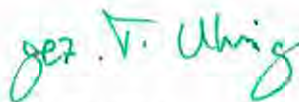
**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
 Prüfamts für Standsicherheit für die
 Bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter



D. Rank

Der Leiter



i.V. Th. Uhrig