

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

vom: 17.12.2014

Prüfnummer: 2129561-9-d Rev.1

1. Objekt

Anlage: Stahlrohrturm mit 137m Nabenhöhe,
für Windenergieanlagen vom Typ
Vestas V126-3.3MW für
Windzone 2, Geländekategorie II
Turbulenzkategorie A
Erdbebenzone 3

Prüfgrundlage DIBt-Richtlinie 2012

Hersteller: Vestas WIND SYSTEM A/S
Hedeager 44
8200 Aarhus N
Dänemark

**Konstruktion und
statische
Berechnung:** Vestas WIND SYSTEM A/S
Hedeager 44
8200 Aarhus N
Dänemark

Auftraggeber: Vestas WIND SYSTEM A/S
Hedeager 44
8200 Aarhus N
Dänemark

Geltungsdauer: bis 28.11.2019



Industrie Service

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.



Datum: 17.12.2014

Unsere Zeichen:
IS-FSW-MUC/TR

Dokument:
2129561-9-
d_Rev.1_Vestas_V126-
3.3_LDST_HH137_DIBt2012_do
cx

Bericht Nr. 2129561-9-d Rev.1

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:
Karsten Xander (Vorsitzender)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),
Dr. Ulrich Klotz, Thomas Kainz

Telefon: +49 89 5791-3146
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



Änderungsverzeichnis

Rev. Nr.	Datum	Änderungen
0	28.11.2014	Erstfassung
1	17.12.2014	Korrektur der Anforderung der statischen Bodendrehfeder in Auflage 4. Die für Revision 0 gestempelten Unterlagen behalten ihre Gültigkeit

2. Prüfunterlagen

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

- [1] „Tower Strength Calculation Hub Height 137m - For Vestas Wind Turbine V126 3.3MW DIBt WZ2 GK II – Large Diameter Steel Tower (LDST)“, Dokument Nr. 0047-2178.V01, Seite 1 bis 36 mit Anhang A1 bis A12, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 18.11.2014.
- [2] Konstruktionsplan „V126-3.3 MW NH137 DIBt2 GK2“, Zeichnungsnr. 0046-6137, Ver. 1, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 20.11.2014.
- [3] „V126 3.3MW HH137 DIBt2 – LDST Vertical flange calculation report“, Dokument Nr. 0046-6141 VER00, Seite 1 bis 10, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 18.09.2014.
- [4] „Extreme and Fatigue Assessment of Fillet Welds along Vertical Flanges for Vestas V126-3.3MW HH137 DIBt2 LDST“, Dokument Nr. 0046-6139 VER 01, Seite 1 bis 14, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 30.10.2014.
- [5] „Large Diameter Steel Tower – FE Analysis on the Buckling Strength of the V126 3.3MW HH137 DIBt2 LDST Tower“, Dokument Nr. 0047-2811 VER00, Seite 1 bis 22, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 26.09.2014.
- [6] „LDST – FE Analysis on the Vertical Joint near Middle Flanges – V126-3.3MW HH137m DIBt2 Tower“, Dokument Nr. 0047-2812 VER00, Seite 1 bis 69, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 26.09.2014.
- [7] „LDST – FE Analysis on the Vertical Joint near the Tower Foundation Interface – V126 3.3MW HH137 DIBt2“, Dokument Nr. 0047-2813 VER01, Seite 1 bis 54, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 21.11.2014.

Folgende Unterlagen lagen zur Einsicht vor:

- [8] “Tower Loads V126-3.3 MW, Mk2a, DIBt2 GKII, 137 m – 50 Hz, GS“, Dokument Nr. 0047-2698 VER 02, Seite 1 bis 16, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 29.09.2014.
- [9] “Foundation loads – V126-3.3 MW, Mk2a, DIBt2, 137 m – 50 Hz, GS“, Dokument Nr. 0047-2702 VER00, Seite 1 bis 36, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 19.09.2014.
- [10] “V112/V117/V126-3.3MW Tower Top Flange – Finite Element Analysis“, Dokument Nr. 0037-5022 VER01, Seite 1 bis 29, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 24.05.2013.
- [11] „Gutachterliche Stellungnahme für die Lastannahmen zur Turm- und Fundamentsberechnung der Vestas V126 – 3.3 MW mit 137 m Nabenhöhe für DIBt 2012 WZ 2 GK II“, Bericht Nr. PD-641802-18RPSIZ-5, Rev. 00, Seite 1 bis 5 mit Anhang, erstellt von Det Norske Veritas, Danmark A/S, vom 27.11.2014.



- [12] „Tower top flange approval letter – V112/V117/V126-3.3 MW turbines”, DNV Reg. No.: 2309-18ASKD6 Sign: PR/MARWOL, Corresp. No.: 2309-17FMDDDB-2, Seite 1 bis 2, erstellt von Det Norske Veritas, Danmark A/S, vom 20.06.2013.
- [13] „Design Guidelines for Calculation of Tubular Towers DIBt version“ Vestas Dokument Nr. 0014-2731.R2, Seite 1 bis 40, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, vom 02.04.2014.

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 Vestas V126-3.3MW mit Nabenhöhe 137m.

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, 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 Vestas V126-3.3 MW mit 137m Nabenhöhe besteht aus fünf konischen Segmenten. Der Außendurchmesser des Turmes beträgt am Turmfußflansch 6,30 m und am Turmkopfflansch 3,258 m.

Die fünf Segmente des Turms haben eine Länge von 25,960 m, 30,800 m, 24,920 m, 24,920 m, und 28,000 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 unteren zwei Turmsektionen sind jeweils längs, in drei gleichgroße Segmente (3 x 120°) geteilt, wie auf den Konstruktionsplänen [2] dargestellt. 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, siehe Konstruktionsplan [2].

Zwischen dem geteilten T-Ringflansch und der Mörtelfuge des Fundamentes liegt eine Lastverteilplatte.

Die Wanddicke des Turmes variiert zwischen 15 mm und 35 mm wie auf dem Konstruktionsplan [2] angegeben. Die Wanddickenstöße sind als Stumpfnähte ausgeführt.

Der Bereich der Türöffnung in der untersten Turmsektion ist mit einem 60mm dicken Segmentblech über einen Winkel von 40° verstärkt.



6. Lastannahmen

Die bemessenden Lasten für den Turm der Windenergieanlage vom Typ Vestas V126-3.3 MW mit 137m Nabenhöhe sind in Dokument [8] und [9] für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Betriebsfestigkeitsnachweis angegeben. In Dokument [11] werden Lasten aus Dokument [8] und [9] bestätigt. In Dokument [8] wird bestätigt, daß Einwirkungen aus Erdbeben Bedeutungskategorie II, Erdbebenzone 3 nach DIN EN 1998-1 und DIN EN 1998-1/NA in den Lasten berücksichtigt sind.

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

Turmkopfmasse V126-3.3 MW: ca. 193,4 t

Turm ab Unterkante Bodenflansch:
 (ohne Einbauten): ca. 374,8 t

7. Baustoffe

Turmwand (15 mm \leq t \leq 35 mm)	DIN EN 10025-2 - S355 J0 mit 3.1-Zeugnis nach DIN EN 10204
Verstärkung des Türsegments (t = 60 mm)	DIN EN 10025-3 – S355NL 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 M42-10.9, 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 [8] und [9] auch nur geringfügig, sind neue Nachweise zur Prüfung vorzulegen.

Die Prüfung der Fundamentausbildung und der Ankerschrauben ist nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes.

Die Schweißnaht am Turmkopfflansch und die Festigkeit des Turmkopfflansches im Radius wurden anhand der Spannungskonzentrationsfaktoren aus Dokument [10] geprüft, die in Bericht [12] bestätigt werden. Der Nachweis der Schraubverbindung am Turmkopf zur Maschine ist nicht Gegenstand dieser Prüfung.



Die Schweißnähte der vertikalen Flansche unter Extremlast und Ermüdungslasten wurden anhand der Spannungskonzentrationsfaktoren aus den Dokumenten [6] und [7] geprüft, die mit diesem Bericht ebenfalls bestätigt werden.

Die erste Eigenfrequenz wurde für elastische und starre Einspannung angegeben. Sie entspricht dem Gültigkeitsbereich der zugrundeliegenden Lastberechnung, Dokument [8] und [9]:

	Eigenfrequenz f_0 [1/s]
bei Einspannung mit Rotationsfedersteifigkeit von 80 GNm/rad:	0,158
bei Einspannung mit Rotationsfedersteifigkeit von 500 GNm/rad:	0,162

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.

Die Prüfung der Innenausbauten ist nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes.

Montage- und Bauzustände während der Wartung und der Installation wurden mit Ausnahme von wirbelerregten Querschwingungen nicht geprüft.

Die Typenprüfung ist nur vollständig bei Vorlage aller in Dokument /1/, Kapitel 3 in den Abschnitten I, J, K und L gelisteten Unterlagen.

Ein vorzeitiger Widerruf des Prüfberichtes bleibt dem Prüfamts für Baustatik für 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.

Gegen die Erteilung einer Baugenehmigung bestehen unsererseits keine Bedenken, 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 [8] und [9] geeignet. Bei ungünstigeren Aufstellungsorten sind gegebenenfalls, in Abstimmung mit dem Lastgutachter, erneute statische Berechnungen anzustellen und zur Prüfung vorzulegen.
2. Es ist zu prüfen, ob die Lastannahmen im Dokument [8] und [9] sämtliche auftretenden Schwingungsphänomene beinhalten. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die nicht in den Berichten [8] und [9] berücksichtigt wurden, so sind zusätzliche Ermüdungsberechnungen durchzuführen und zur Prüfung vorzulegen.



3. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen in den Lastdokumenten [8] und [9] zu begrenzen.
4. Der in [1] angegebene Mindestwert für die dynamischen Drehfedersteifigkeit von 80 GNm/rad und der statischen Drehfedersteifigkeit von 17,5 GNm/rad, der beim Zusammenwirken von Fundament und Baugrund nicht unterschritten werden darf, ist einzuhalten.
5. Während der Montage oder Reparatur ist der Bauzustand mit errichtetem 1. bis 4. Turmsegment auf maximal 7 Tage zu begrenzen. Die Montage des 5. Turmsegments und der Gondel hat in einem Zug innerhalb von 7 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 C5-I (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Meeresnähe ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie 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 maximal zulässigen Flanschtoleranzen gemäß /1/, Abschnitt 13.1 sind einzuhalten.
11. Die planmäßige Vorspannung ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben in /1/ erneut zu kontrollieren und ggf. Nachzuspannen.
12. Es ist für jeden Standort sicherzustellen, daß der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen eingehalten wird.
13. Zwischen den Höhenabschnitten 0,000m bis 7,310m, 24,405m bis 27,515m, 55,190m bis 56,760m und 120,500m bis 134,600m bezogen auf Unterkante Fussflansch, 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.



Industrie Service

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
Prüfamt für Standsicherheit für die
Bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen

Der Bearbeiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rudzinski'.

T. Rudzinski

Der Leiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Th. Uhrig'.

Th. Uhrig