

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

Original Instruction: T05 0081-5680 VER 00

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 2018-12-18

**Prüfnummer:** 2839951-17-d

**Objekt:** Prüfung der Standsicherheit - Stahlrohrturm  
Windenergieanlage Vestas V136-4.0/4.2MW-Mk3E,  
Turm T887006 mit 112m Nabenhöhe,  
Windzone S, 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:** 2023-12-17

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/AF

Dokument:  
2839951-17-d-rev0-Vestas-  
V136-4MW-T112-T887006.docx

Das Dokument besteht aus  
9 Seiten.  
Seite 1 von 9

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](http://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](http://www.tuev-sued.de/is)

**TÜV®**

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

T05 0081-5680 Ver.00 - Approved - Exported from DMS: 2019-01-07 by INVOL



Revision	Datum	Änderungen
0	2018-12-18	Erstfassung

**Inhaltsverzeichnis**

1. Unterlagen.....3  
1.1 Geprüfte Unterlagen.....3  
1.2 Eingesehene Unterlagen .....3  
2. Prüfgrundlage.....4  
3. Beschreibung .....5  
4. Prüfumfang.....6  
5. Prüfbemerkungen.....6  
6. Prüfergebnis.....8  
Auflagen.....8

## **1. Unterlagen**

### **1.1 Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] "Tower Strength Calculation Hub Height 112m - For Vestas Wind Turbine V136-4.0/4.2MW-MK3 DiBt S (WZ2GK2) T887006", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 32 Seiten mit Anhang A1 bis A10, Dokument Nr. 0077-1500, Revision 1, Datum 2018-11-01
- [2] Zeichnung „T887006 - V136-4.0/4.2 MW-MK3 NH112 DIBTS (WZ4 GK2)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnungs Nr. 0077-1498, Revision 1, Datum 2018-11-07

### **1.2 Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich zur Information herangezogen:

- [3] "Combine Tower Loads V136-4.0/4.2 MW, Mk3E, WZ4GK2 (S), 112 m – 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 15 Seiten, Dokument Nr. 0077-3472, Revision 01, Datum 2018-10-01
- [4] "Combine Foundation Loads V136-4.0/4.2 MW, Mk3E, WZ4GK2 (S), 112 m – 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 65 Seiten, Dokument Nr. 0077-3063, Revision 01, Datum 2018-10-05
- [5] "Gutachterliche Stellungnahme Lastannahmen zur Berechnung des Turmes für die Vestas V136-4.00MW Mk3E DiBt S und V136-4.00MW Mk3E DiBt S mit 112 m Nabenhöhe“, erstellt von DNV GL, 7 Seiten, Bericht Nr. L-03642-10\_20181217, Rev. 0, Datum 2018-12-17
- [6] Zeichnung "Flange Ø3268/Ø3010x400 (Ø3100)", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 75953283, Revision 0, Datum 2018-02-14
- [7] "Tower Top Flange FE analysis 4MW platform Mk3e“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 42 Seiten, Dokument Nr. 0072-2517, Revision 01, Datum 2018-02-13
- [8] "Verification Letter Tower Top Flange, 4MW Platform MK3E“, erstellt von DNV GL, 3 Seiten, Dokument Nr. LTR-03642-20180503, Datum 2018-05-03
- [9] „Design Guidelines for Calculation of Tubular Towers DiBt version“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S Vestas, 40 Seiten, Dokument Nr. 0014-2731, Revision 02, Datum 2014-04-02



## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Fassung Oktober 2012 Korrigierte Fassung März 2015

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /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:2015
- /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 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /11/ 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“
- /12/ 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“
- /13/ DASt – Richtlinie 021:2013 “Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“

### **3. Beschreibung**

Der Stahlrohturm für die Windenergieanlage Vestas V136-4.0/4.2MW-MK3 besteht aus drei zylindrischen und zwei konischen Sektionen.

Die Stöße der Turmsektionen sind als L-Ringflanschverbindungen mit innenliegenden, vorgespannten Schrauben ausgeführt.

Die Wanddickenstöße der Turmsegmente sind als Stumpfnähte ausgeführt.

Die Türöffnung in der untersten Turmsektion ist mit einem Blech verstärkt.

Die Anbindung an das Fundament erfolgt über einen T-Ringflansch. Die Anbindung an das Turmkopflager erfolgt über einen L-Ringflansch.

#### **Maße:**

Nabenhöhe:	112,00 m
Gesamtlänge Turm:	109,60 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	4,050 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmkopf:	3,258 m

Weitere Angaben können der Zeichnung [2] entnommen werden.

#### **Baustoffe:**

Turmwand	S355 J0 gemäß DIN EN 10025
Türverstärkung	S355 K2 gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025 mit Z25 Güte gemäß DIN EN 10164 für aus Blech hergestellte Flansche, die senkrecht zur Walzebene beansprucht werden
Turmfußflansch	S355 NL gemäß DIN EN 10025 mit Z25 Güte gemäß DIN EN 10164 für aus Blech hergestellte Flansche, die senkrecht zur Walzebene beansprucht werden
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /12/ M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /13/ M64-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /13/

### **Lastannahmen:**

Die bemessenden Lasten für den Stahlrohrturm sind in Dokument [3] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit angegeben. Die Fundamentlasten sind in [4] angegeben. In Dokument [5] wurden diese Lasten bestätigt.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [3] auf Basis der DIN EN 1998-1 /9/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /10/ in Deutschland abgedeckt.

Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

Turmkopfmasse: 205 t

### **4. Prüfumfang**

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit der in den technischen Unterlagen dargestellten und nachgewiesenen Bauteile auf Basis der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen für den in Abschnitt 3 beschriebenen Stahlrohrturm.

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 Überprüfung der Bauausführung, von Bau- und Transportzuständen, der Standorteignung, des Fundaments, des Blitzschutz-/Erdungskonzepts und der 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. Prüfbemerkungen**

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft.

Die vorliegenden Nachweise in Dokument [1] weisen für verschiedene Teilbereiche Auslastungen von nahezu 100% sowohl für die Betriebs- als auch für die Extremlasten aus. Überschreiten die begutachteten Lasten die Lastannahmen gemäß [3] sind neue Nachweise zur Prüfung vorzulegen.

### **Schnittstellen:**

Die Prüfung der Ankerschrauben ist nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes.

Die Berechnung des Turmkopfflansches, mit dem Nachweis der Schweißverbindung im Einflussbereich des Turmkopfflansches und des Radius gemäß Zeichnung [6] wurden in [1] anhand von Spannungskonzentrationsfaktoren aus [7] durchgeführt. Dokument [7] wurde mit [8] bestätigt.



**Eigenfrequenzen:**

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [5] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,191 Hz bis 0,211 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\phi,dyn} = 110 \text{ GNm/rad}$  betragen.

**Imperfektionen:**

Die Lasten aus [3] 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  $k_{\phi,stat} = 22 \text{ GNm/rad}$ .

**Bauzustände, Querschwingungen:**

Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [1] geführt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer
Turm ohne oberste Sektion (5)	Errichtung der Sektionen 4, und 5 in einem Zug ohne Unterbrechung
Turm ohne Gondel	1 Woche
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	1 Jahr über die Lebensdauer

**Kerbfallklassen:**

Gemäß [1] wurden für die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) folgende Kerbfallklassen gemäß DIN EN 1993-1-9 /7/ angesetzt:

Lage in Bezug auf die Turmhöhe	Kerbfallklasse
Zwischen 0,000 und 7,390 m:	DC 80
Zwischen 102,540 und 109,200 m:	DC 80
Alle anderen Höhen:	DC 90

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

## **6. Prüfergebnis**

Die Berechnung und die zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den geprüften Stahlrohrturm entsprechen der Richtlinie für Windenergieanlagen des DIBt /1/ 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 Windenergieanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [3] geeignet. Bei ungünstigeren Aufstellungsorten sind gegebenenfalls in Abstimmung mit dem Lastgutachter erneute statische Berechnungen zu erstellen und zur Prüfung vorzulegen.
2. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [3] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
3. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
4. Es ist für jeden Standort sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten wird.
5. Bauzustände und Stillstandszeiten der Anlage sind gemäß den Angaben in Abschnitt 5 zeitlich zu beschränken. 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 S1 und E1, 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 Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt- Richtlinie /1/ erneut zu kontrollieren und ggf. nachzuspannen.



Industrie Service

11. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) müssen mindestens den in Abschnitt 5 angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
12. Die Anforderungen an die wiederkehrende Prüfung gemäß der DIBt- Richtlinie /1/ sind zu beachten.

**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 green ink, appearing to read 'A. Felten'.

A. Felten

Der Leiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'S. Kasper'.

S. Kasper

