



PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 11.06.2021

Prüfnummer: 3319076-102-d Rev. 3

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Windenergieanlagen vom Typ
Vestas V150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW EnVentus
Turm: Stahlrohrturm
Nabenhöhe: 125 m über GOK
Windzone S, Erdbebenzone 3
Entwurfslebensdauer: 25 Jahre

Hier: $\varnothing = 28,60$ m (rund) mit Auftrieb

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

Hersteller : Vestas Wind Systems A/S

Konstruktion und Berechnung Fundament: HCE Ingenieurgesellschaft mbH
Bleicherweg 6
21073 Hamburg

Auftraggeber: HCE Ingenieurgesellschaft mbH
Bleicherweg 6
21073 Hamburg

Geltungsdauer: bis 07.10.2025

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/HEM

Dokument:
3319076-102-
d_rev3_HCE_V150_HH125_FG-
HGWL-25a.docx

Das Dokument besteht aus
7 Seiten.
Seite 1 von 7

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.tuvsud.com/de/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vorsitzender)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),
Thomas Kainz, Simon Kellerer

Telefon: +49 89 5791-3146
Telefax: +49 89 5791-2956
www.tuvsud.com/de-is

TUV[®]

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



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	08.10.2020	Erstfassung
1	15.10.2020	Vestas-Dokumentenummern hinzugefügt
2	17.11.2020	Neue Revision der Dokumente [1], [2], [8] und [9] aufgenommen
3	11.06.2021	Geänderte Lasten und Aufnahme Leistungsstufe 6.0 MW. Neues Dokumente [2] aufgenommen; Neue Revision der Dokumente [3] bis [10]

Notiz: Referenzangaben älterer Revisionen könnten sich geändert haben und könnten bei der aktuellen Revision nicht mehr zutreffen.

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen3

1.1. Geprüfte Unterlagen.....3

1.2. Eingesehene Unterlagen.....3

2. Prüfgrundlage4

3. Beschreibung4

3.1. Baustoffe.....5

3.2. Lastannahmen5

3.3. Baugrund5

4. Prüfumfang5

5. Prüfbemerkungen.....5

6. Prüfergebnis.....6

Auflagen.....6

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende von HCE erstellte Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „1. Revision Statische Berechnung, Flachgründung mit hohem Wasserstand (HGWL) Windenergieanlage vom Typ Vestas EV150-5.0/5.4/5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), 125 m“, 836 Seiten inkl. Anlagen 1 und 2, Dokument Nr. 20098St2_R1, Rev. 1, Datum 2020-10-28, Vestas Dokument Nr. 0099-3608 Ver. 1
- [2] „1. Nachtrag Statische Berechnung, Flachgründung mit hohem Wasserstand (HGWL) Windenergieanlage vom Typ Vestas EV150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), 125 m“, 521 Seiten inkl. Anlagen 1 und 2, Dokument Nr. 20098St2_N1, Rev. 0, Datum 2021-03-18 Vestas Dokument Nr. 0099-3608 Ver. 3
- [3] „Schalplan, Windenergieanlage Vestas EV150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), Nabenhöhe 125 m - Flachgründung mit hohem Wasserstand“, Plan Nr. 098-20 V150 1 SP 101, Index 4, Datum 2021-04-23, Vestas Dokument Nr. 0107-0918 Ver. 0
- [4] „Bewehrungsplan, Windenergieanlage Vestas EV150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), Nabenhöhe 125 m - Flachgründung mit hohem Wasserstand“, Plan Nr. 098-20 V150 1 BP 102, Index 3, Datum 2021-04-23, Vestas Dokument Nr. 0107-0918 Ver. 0
- [5] „Bewehrungsplan, Windenergieanlage Vestas EV150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), Nabenhöhe 125 m - Flachgründung mit hohem Wasserstand“, Plan Nr. 098-20 V150 1 BP 103, Index 3, Datum 2021-04-23, Vestas Dokument Nr. 0107-0918 Ver. 0
- [6] „Bewehrungsplan, Windenergieanlage Vestas EV150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), Nabenhöhe 125 m - Flachgründung mit hohem Wasserstand“, Plan Nr. 098-20 V150 1 BP 104, Index 3, Datum 2021-04-23, Vestas Dokument Nr. 0107-0918 Ver. 0

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [7] „Combine Foundation loads – T967D00, EV150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), 125 m“, erstellt von Vestas, 323 Seiten, Dokument Nr. 0095-0849, Rev. 1, Datum 2021-02-04
- [8] „Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW mit 125 m Nabenhöhe (Entwurfslebensdauer 25 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)“, erstellt von DNV GL, 8 Seiten, Dokument Nr. L-04353-A052-1b, Rev. 3, Datum 2021-04-21
- [9] Ankerkorbzeichnung „AC1.5 V150 5.0/5.4/5.6/6.0MW HH125 DIBT“, erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0080-9011, Rev. 7, Datum 2021-03-10
- [10] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Ankerkorb, Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW EnVentus, Turm: Stahlrohrturm, Nabenhöhe: 125 m über GOK, Windzone S, Erdbebenzone 3, Entwurfslebensdauer: 25 Jahre“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 6 Seiten, Prüfnummer: 3296320-22-d, Rev. 2, Datum 2021-05-21

2. Prüfgrundlage

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkung 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 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken –Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /4/ DIN EN 1997-1:2009 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010
- /5/ DIN 1054:2010 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ + DIN 1054/A1:2012 and DIN 1054/A2:2015
- /6/ 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
- /7/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

3. Beschreibung

Der Stahlrohrturm für die Windenergieanlage vom Typ Vestas V150-5.0/5.4/5.6/6.0 MW EnVentus mit 125 m Nabenhöhe wird auf einem kreisrunden Stahlbetonfundament verankert. Die unterste Stahlsektion wird mit vorgespannten Ankerbolzen und einem einbetonierten Ankerring auf dem Fundament verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit 28,60 m Außendurchmesser, mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. In der Mitte des Fundaments wird ein kreisrunder Bereich mit unbewehrtem Beton ausgeführt. Unter dem Fußflansch wird eine Lastverteilplatte angeordnet. Zwischen Lastverteilplatte und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

Die Fundamentplatte wird mit Erdreich überschüttet, um die statisch erforderliche Auflast zu erreichen.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können dem Schalplan [3] entnommen werden.

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C35/45 mit Expositionsclassen XC2, XF3 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C50/60 mit Expositionsclassen XC4, XF3, XS1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton über der Ankerplatte	C50/60 mit Expositionsclassen XC2, XF3 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/

3.2. Lastannahmen

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind im Fundamentlastdokument [7] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [8] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [8] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt.

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von 5 kN/m² berücksichtigt.

Um das Absetzen eines Kranballastes zu berücksichtigen wurde eine Last von 3700 kN auf einer Fläche von 10,5 x 2,4 m² als temporärer Lastfall auf dem Fundament berücksichtigt.

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

3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Zeichnung [3] $k_{\phi, \text{dyn}} \geq 100 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\phi, \text{stat}} \geq 23,6 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei Geländeoberkante (0,09 m unter Sockeloberkante).

4. Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit der in Abschnitt 3 beschriebenen Flachgründung mit Auftrieb auf Basis der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen.

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

Die Überprüfung der Standorteignung sowie des Blitzschutz- und Erdungskonzepts ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

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

5. Prüfbemerkungen

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft.

Auf Basis der eingereichten Unterlagen und unserer Vergleichsrechnungen können ausreichende Sicherheiten bestätigt werden. Die Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnungen sowie den Vorgaben der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

Schnittstellen:

Die Nachweise des Ankerkorbs (bestehend aus Ankerbolzen und Ankerring) gemäß [9] wurden mit Prüfbericht [10] bestätigt.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [7] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung durch Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung von 6 mm/m infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von $k_{\varphi,stat} = 21,4 \text{ GNm/rad}$. Der Einfluss einer zusätzlichen Turmschiefstellung von 5 mm/m wurde in der Vergleichsrechnung berücksichtigt und kann als vernachlässigbar eingestuft werden.

Revision 3 dieses Prüfberichts:

In dieser Revision wurde die Leistungsstufe 6.0 MW in den Prüfbericht mit aufgenommen. Dazu wurde die statische Berechnung [1] um einen Nachtrag ergänzt [2], Verweise auf Pläne, Lastendokumente und einbezogene Prüfberichte wurden entsprechend aktualisiert.

6. Prüfergebnis

Die Berechnungen und die zugehörigen Konstruktions- und Bewehrungszeichnungen für das Fundament entsprechen den in Abschnitt 2 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Anforderungen an die Standsicherheit der Gründung 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 das Fundament ist hiermit abgeschlossen.

Auflagen

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [3] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.

4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Ausführung Fundament

5. Auf einen ausreichenden Korrosionsschutz für den Ankerkorb ist zu achten. Sollte Expositions klasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositions klassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete beton technologische Maßnahmen zu ergreifen.
7. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen der Ankerbolzen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
8. Das in [3] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein.

Prüfintervalle:

9. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die Zeichnungen und die Berechnungen zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter



H. Masching

Der Leiter



i.V. S. Mayer