



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 10.01.2023

Prüfnummer: 3170518-24-d Rev. 5

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Windenergieanlage Vestas V150-5.4/5.6/6.0 MW
Turm: Hybridturm T21
Nabenhöhe: 169 m über GOK
Windzone S, Erdbebenzone 3

Hier: Ø = 24,00 m (rund) mit Auftrieb

Entwurfslebensdauer: 25 Jahre

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

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

**Statische
Berechnung:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
92369 Sengenthal

Auftraggeber: Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
92369 Sengenthal

Geltungsdauer: bis 10.03.2025

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:
3170518-24-d
Rev.5_Bögl_Vestas
V150_T21_169m_FGmA_24_0_2
5a.docx

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.tuvsud.com/de/impresum

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	11.03.2020	Erstfassung
1	16.03.2020	Redaktionelle Änderungen. Dokumente [1] bis [3] behalten Gültigkeit.
2	27.11.2020	Neue Revision Dokumente [1], [3], [7] bis [10], [13] und [14]. Neues Dokument [6]. Dokument [2] behält Gültigkeit.
3	14.06.2021	Neue Revision Dokumente [1] bis [3], [8] bis [11] und [13]. Neue Dokumente [7] und [14] bis [17].
4	03.03.2022	Dokumente [8] und [11] aktualisiert. Dokumente [1] bis [3] behalten ihre Gültigkeit
5	10.01.2023	Dokumente [2], [3], [9], [11] und [18] aktualisiert. Dokument [19] ersetzt. Neue Dokumente [20] und [21]. Dokument [1] behält ihre Gültigkeit. Umstellung auf die Spanngliedverankerung 3.0. Anforderung an die dynamische Bodendrehfedersteifigkeit korrigiert. Zulässiger Wasserstand korrigiert.

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	4
3.	Beschreibung	5
3.1.	Baustoffe.....	5
3.2.	Lastannahmen	5
3.3.	Baugrund	6
4.	Prüfumfang	6
5.	Prüfbemerkungen.....	6
6.	Prüfergebnis.....	7
	Auflagen.....	7



Industrie Service

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente, von Max Bögl Wind AG erstellt, wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T21, Windenergieanlage: Vestas V150-5.4/5.6/6.0, Nabenhöhe: 169m + 166 m, Bauteil: Fundament D = 24,0 m“, 202 Seiten, Dokument Nr. 21683-T21, Rev. b, Datum 2021-05-07
- [2] „Schalplan Fundament Ø24,00m, NH=166m und 169m“, Dokument Nr. DE_T21_005_XX_X_Schalplan, Rev. b, Datum 2022-04-08
- [3] „Bewehrung Fundament Ø24.00m“, Dokument Nr. DE_T21_006_XX_X_Bewehrung, Rev. h, Datum 2022-09-27

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [4] „Combine Foundation loads, V150-5.4 & 5.6 MW, EnVentus, DIBt, HH166 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 100 Seiten, Dokument Nr. 0088-7510, Rev. 3, Datum 2020-02-24
- [5] „Combine Foundation loads, V150-5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH169 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 192 Seiten, Dokument Nr. 0088-7509, Rev. 3, Datum 2020-02-24
- [6] „Extreme Torsional Moment – (H96A600/H96A900), EV150-5.6 MW, EnVentus, DiBTS, HH 166/169m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas, 13 Seiten, Dokument Nr. 0098-7777, Rev. 00, Datum 2020-09-22
- [7] „Tower Loads Comparison – (H96A600/H96A900) EV150-5.4/5.6/6.0MW, EnVentus, DIBt, HH166/169 m 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas, 24 Seiten, Dokument Nr. 0095-5788, Rev. 02, Datum 2021-02-09
- [8] „Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V150-5.4/5.6/6.0 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 25 Jahre) für Windzone S“, erstellt von DNV GL Energy Renewables Certification, 8 Seiten, Dokument Nr. L-05696-A052-4, Rev. 5, Datum 2022-02-25
- [9] „Uebersichtsplan Gesamtturm, NH=169m V150, Spannlieds. „Suspa““, erstellt von Max Bögl Wind AG, Dokument Nr. DE_T21_001_XX_X_Uebersicht, Rev. g, Datum 2022-04-08
- [10] „Statische Berechnung – Max Bögl Hybridturm T21, Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 165 Seiten, Dokument Nr. 21683-T21, Rev. e, Datum 2021-05-06
- [11] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm T21, Windenergieanlagen Vestas V150-5.4/5.6/6.0MW, 169 m Nabenhöhe, Windzone S, Erdbebenzone 3, Entwurfslebensdauer: 25 Jahre“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 15 Seiten inklusive Anhang 1, Dokument Nr. 3170518-14-d, Rev. 5, Datum 2023-01-10
- [12] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 39 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021



Industrie Service

- [13] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [14] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 19 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [15] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 18 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [16] European Technical Assessment „SUSPA – Wire EX, External post-tensioning kit for prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom Österreichischen Institut für Bautechnik, 46 Seiten, Dokument Nr. ETA-07/0186, vom 16.11.2020
- [17] European Technical Assessment „Wire EX Wind, External post-tensioning kit for prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom Österreichischen Institut für Bautechnik, 46 Seiten, Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020
- [18] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. i, vom 2021-03-02
- [19] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 9 Seiten, Dokument Nr. 8118409048-6 D, Rev. 0, vom 2021-03-05
- [20] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm T21“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 18 Seiten, Projekt Nr. 21683-T21, Rev. a, Datum 2022-05-16
- [21] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm DE-T21 mit Spanngliedverankerung 3.0“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 27 Seiten, Projekt Nr. 21683-T21, Rev. a, Datum 2022-05-09

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



Industrie Service

- /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 und 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 Hybridturm für die Windenergieanlage vom Typ Vestas V150-5.4/5.6/6.0 MW mit 169 m Nabenhöhe wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Sockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit 24,00 m Außendurchmesser, mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmwand und Sockel ist eine Mörtelgleichschicht angeordnet.

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

Das Fundament kann wahlweise ohne Arbeitsfugen oder abschnittsweise gemäß [2] hergestellt werden.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können dem Schalplan [2] entnommen werden.

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem:	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-78, 78 Spannstahladrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [13] und [14] in Verbindung mit [16] bzw. [15] in Verbindung mit [17]

3.2. Lastannahmen

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind in den Fundamentlastdokumenten [4], [5] und [7] für den Grenzzustand der Ermüdung angegeben. Die Lasten wurden mit der



Industrie Service

gutachtlichen Stellungnahme [8] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die Lasten für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit wurden aus der statischen Berechnung des Turmes [10] entnommen. Diese Lasten werden mit dem Turmprüfbericht [11] bestätigt und als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [11] 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 /6/ in Deutschland abgedeckt.

Auf der Oberseite des Fundamentsockels wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m² berücksichtigt. Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen $k_{\phi, \text{dyn}} \geq 200 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\phi, \text{stat}} \geq 40 \text{ GNm/rad}$ gemäß Dokument [2].

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,14 m über Fundamentunterkante.

4. Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit der in Abschnitt 3 beschriebenen Flachgründung 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 sind 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 der Lasteinleitung in den Beton des Fundaments am Turmfuß und an der Ankerplatte der Spanngliedverankerung werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Ermüdungsnachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in [10] geführt und in [11] bestätigt.



Industrie Service

Die Ermüdungsnachweise der Lasteinleitung in den Beton oberhalb der Ankerplatte wurden in [21] geführt und in [11] bestätigt.

Die Nachweise der Spanngliedverankerung wurden in [18] geführt und in [19] bestätigt.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [10] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [10] für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [11] bestätigt.

Letzte Revision dieses Prüfberichts:

Die neue Revision von [2] beinhaltet eine neue Spanngliedverankerung mit 2xM72 Ankerstangen. Die Anpassung der bisher geführten Nachweise wurde in [21] durchgeführt und mit [11] bestätigt.

Gemäß den Berechnungen in [21] ist keine Anpassung der Fundamentbewehrung erforderlich. Dokument [3] wurde redaktionell angepasst.

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 [2] 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.



Industrie Service

Ausführung Fundament

5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsklassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [13] bis [17] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
7. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Fundaments ist eine gültige Version der Zulassungen [13] bis [17] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
8. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
9. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
10. Die in der Berechnung spezifizierten Materialwichten des Fundaments und der Bodenaufschüttung sind durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
11. Das in [2] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.

Prüfintervalle

12. 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

C. Reuter

Der Leiter

i.V. S. Mayer