



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 08.11.2023

Prüfnummer: 3170518-14-d Rev. 6

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm T21**
Windenergieanlagen Vestas V150-5.4/5.6/6.0 MW,
169 m Nabenhöhe
Windzone S, Erdbebenzone 3
Entwurfslebensdauer: 25 Jahre

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

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

**Konstruktion und
Berechnung Be-
tonteil:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

**Konstruktion und
Berechnung
Stahlteil:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Auftraggeber: Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Gültig bis: 08.03.2025

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:
3170518-14-
d_Rev.6_Vestas_V150_HH169m
_25Jahre_Hybridturm T21

Das Dokument besteht aus
14 Seiten.
Seite 1 von 14

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

TÜV®

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	09.03.2020	Erstfassung
1	25.11.2020	Dokumente [1], [2], [8], [12] und [15] aktualisiert. Dokument [11], [25] und [26] ergänzt. Dokumente [3] bis [7] behalten ihre Gültigkeit.
2	14.06.2021	Dokumente [1], [2], [4], [5], [6], [8], [13] und [18] aktualisiert. Dokumente [12], [19], [20], [21] und [22] ergänzt. Dokumente [3] und [7] behalten ihre Gültigkeit.
3	03.03.2022	Dokumente [13] und [27] aktualisiert. Dokument [28] durch aktuelles Maschinengutachten ersetzt. Dokumente [1] bis [8] behalten ihre Gültigkeit.
4	23.11.2022	Neue Dokumente [9], [31] und [32] hinzugefügt. Dokument [29] aktualisiert. Dokumente [1] bis [8] bleiben weiterhin gültig. Redaktionelle Änderungen.
5	10.01.2023	Neue Dokumente [10] und [11]. Dokumente [5], [17], [18], [28], [A1], [A2] und [A8] aktualisiert. Dokument [29] ersetzt. Umstellung auf die Spanngliedverankerung 3.0. Anforderung an die dynamische Bodendrehfedersteifigkeit im Bericht korrigiert. Redaktionelle Änderungen.
6	08.11.2023	Dokumente [1] und [29] aktualisiert. Zeichnungen [A1], [A5] und [A6] aktualisiert.

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	5
3.	Beschreibung	7
3.1.	Maße:.....	7
3.2.	Baustoffe:.....	7
3.3.	Lastannahmen:	8
4.	Prüfumfang	8
5.	Prüfbemerkungen.....	9
6.	Prüfergebnis.....	11
	Auflagen.....	12
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne	14



Industrie Service

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben erstellt von Max Bögl Wind AG, wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T21, Spannbetonturm", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. k, Datum 2023-10-30
- [2] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T21, Stahlturm", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. d, Datum 2021-05-07
- [3] "Tower Top Flange Strength Check for CHT Towers V150 V162", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Dokument Nr. 0091-4917, Rev. 0, Datum 2020-02-06
- [4] "Statische Berechnung der Bauzustände Max Bögl Hybridturm T21 – Variante 169mNH, Spannbetonturm", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. b, Datum 2021-03-30
- [5] "Spannanweisung der Spannglieder Max Bögl Hybridturm T21, Spannbetonturm", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. d, Datum 2022-05-02
- [6] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm T21", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. c, Datum 2021-04-23
- [7] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", Dokument Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [8] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1
- [9] „Tower Top Flange - EnVentus MK0BC, Strength Verification for V150 DiBt Towers“, Dokument Nr. 0120-9306, Rev. 0, Datum 2022-02-18
- [10] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm DE-T21 mit Spanngliedverankerung 3.0", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. a, Datum 2022-05-09
- [11] "Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm T21", Projekt Nr. 21683-T21, Rev. a, Datum 2022-05-16

1.2. Eingesehene Unterlagen

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

Lasten:

- [12] "Combine tower loads, V150- 5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 166 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0088-7204, Rev. 03, Datum 2020-02-19
- [13] "Combine tower loads, V150- 5.6 & 5.4 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 169 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0088-4553, Rev. 05, Datum 2020-02-19
- [14] "Extreme Torsional Moment – (H96A600/H96A900), EV150-5.6 MW, EnVentus, DiBTS, HH 166/169m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0098-7777, Rev. 00, Datum 2020-09-22



Industrie Service

- [15] "Tower Loads Comparison – (H96A600/H96A900) EV150-5.4/5.6/6.0MW, EnVentus, DIBt, HH166/169 m 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0095-5788, Rev. 02, Datum 2021-02-09
- [16] "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, Dokument Nr. L-05696-A052-4, Rev. 5, Datum 2022-02-25

Betonturm:

- [17] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [18] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [19] Zeichnung "Fugendetailplan", erstellt von Max Bögl, Dokument Nr. DE-T21-M008-Montageplan, Rev. b, Datum 2020-05-06
- [20] 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, Zulassungsnr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [21] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [22] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [23] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [24] 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, Dokument Nr. ETA-07/0186, vom 16.11.2020
- [25] 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, Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020
- [26] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [27] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung "Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm", erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-1.3-284, vom 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024



Industrie Service

- [28] "Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung", erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, vom 2021-03-02
- [29] "Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118409048-6 D, Rev. 2, vom 2022-03-22

Stahlurm:

- [30] "Tower Top Flange FE analysis TFV20/TFV21/TFV22/TFV23", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Dokument Nr. 0087-3549, Rev. 4, Datum 2021-10-05
- [31] "Maschinengutachten der Enventus-Windenergieanlagen V150-5.0 MW / V150-5.4 MW / V150-5.6 / V150-6.0 MW der Firma Vestas Wind Systems A/S mit Stahltürmen für 105 m, 125 m, 148 m und 166 m Nabenhöhe sowie Hybrid-Betontürmen für 166 m und 169 m Nabenhöhe für DIBT 2012 Windzone S beinhaltend Gutachterliche Stellungnahmen zu den Nachweisen der Rotorblätter, der maschinenbaulichen Komponenten einschl. der Verkleidung von Maschinenhaus und der Nabe, der Sicherheitseinrichtungen (Sicherheitsgutachten) und der elektrotechnischen Komponenten und des Blitzschutzes, sowie zu Bedienungsanleitung, Inbetriebnahmeprotokoll (Vordruck) und Wartungspflichtenbuch", erstellt von DNV Energy Systems Renewables Certification, Dokument Nr. M-05475-0, Rev. 8, Datum 2022-03-31
- [32] Zeichnung "FL Ø4008/Ø3730X430(Ø3820) FORGED S355NL", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 75958886, Rev. 0, Datum 2019-09-10
- [33] „Tower Top Flange - EN MK0BC FE analysis – Fatigue/Extreme Loads Assessment“, Dokument Nr. 0110-9432, Rev. 1, Datum 2022-01-27
- [34] „Nachweis Turmkopfflansch für die EnVentus Mk0B und Mk0C“, erstellt von DNV Energy Systems Renewables Certification, Dokument Nr. LTR-04192-20220216, Rev. 0, Datum 2022-02-16
- [35] "Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzepts Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen", erstellt von Max Bögl Wind AG, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [36] "Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Stahlrohrturm – Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 1, vom 2020-03-20

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



Industrie Service

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 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /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 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
- /5/ 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“ + DIN EN 1993-1-1/A1:2014, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015
- /6/ 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
- /7/ 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
- /8/ 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
- /9/ 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
- /10/ 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
- /11/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /12/ 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“
- /13/ DIN EN 14399-4:2015 „Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015“
- /14/ DASt – Richtlinie 021:2013 “Schraubverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“



Industrie Service

- /15/ DIN EN ISO 898-1:2013 "Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl – Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2013"
- /16/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /17/ 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 Turm T21 der Windenergieanlage Vestas V150-5.4/5.6/6.0 MW besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 31 Segmenten, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen Betonfertigteilelemente haben einen kreisringförmigen Querschnitt und werden aus Drittelschalen zusammengesetzt. Die horizontalen Fugen zwischen den Betonfertigteilen werden planmäßig trocken ausgeführt. In den horizontalen Fugen zwischen Segmenten S02 und S13 werden jeweils 6 Dübel zur Übertragung von Schubkräften angeordnet. Die Fuge am Turmfuß wird mit Verguss hergestellt. Die vertikalen Fugen der Teilsegmente werden trocken ohne Verbund ausgeführt. An der Ober- und Unterseite der Vertikalfuge befinden sich Verzahnungen in Form von Nocken zur Übertragung von Druck- und Reibungskräften, oben und unten werden Schraubelemente angeordnet.

Der Betonschaft wird mit externen, im Inneren des Turms liegenden Spanngliedern vorgespannt. Die Spannglieder laufen vom obersten Segment des Betonturms bis zur Verankerung im Fundament, die als Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatte ausgeführt ist.

Die Verbindung zwischen der unteren Stahlsektion und dem obersten Betonelement wird als L-förmige Ringflanschverbindung mit vorgespannten Ankerstäben ausgeführt.

Die Sektionen des Stahlrohraufsatzes sind durch innenliegende Ringflansche mittels vorgespannter Schraubenverbindungen untereinander verbunden. Die einzelnen Teilsegmente sind durch Stumpfnähte miteinander verschweißt.

3.1. Maße:

Nabenhöhe:	169 m
Gesamtlänge Turm:	163,85 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	8,868 m
Außendurchmesser Turmkopfflansch:	4,008 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

3.2. Baustoffe:

Betonfertigteile	C100/115 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [26]
	C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [26]
	Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [26] eingesetzt
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/



Industrie Service

Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und abZ [27]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-78, 78 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [21] und [22] in Verbindung mit [24] bzw. [23] in Verbindung mit [25]
Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025 mit Z15 Güte gemäß DIN EN 10164
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /13/ M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/
Gewindebolzen (Adapter)	M64-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /15/
Ankerring (Adapter)	S355J2 gemäß DIN EN 10025
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014

3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Windenergieanlagen Vestas V150-5.4/5.6/6.0 MW mit Nabhöhe 169 m sind in [13], [14] und [15] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [16] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. In [1] wurden die Lasten für die Grenzzustände der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit aus [12] und [13] verglichen und die Nachweise mit den jeweils maßgebenden Lasten geführt.

In [12] und [13] sind für die Ermüdungsnachweise an den Turmschnitten mehrere Markov-Matrizen zur Erfassung der Lebensdauer- und Nabhöhenvarianten bzw. Systemsteifigkeiten gegeben. In [1] wurden die Ermüdungsnachweise mit den maßgebenden Markov-Matrizen geführt. In [2] wurden die Ermüdungsnachweise einhüllend für das maßgebende Schädigungsäquivalent geführt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

In [15] wurden die Lasten aus der Erweiterung der Leistungsstufe bis 6.0 MW mit den maßgebenden Lasten aus [12], [13] und [14] verglichen und die Nachweise in [1] mit den jeweils maßgebenden Lasten geführt.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [12] auf Basis der DIN EN 1998-1/10/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /11/ in Deutschland abgedeckt.

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

Turmkopfmasse: 252 t

4. Prüfumfang

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

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



Industrie Service

sind nicht Gegenstand dieses Berichtes. Einbauteile für Montagehilfen und Turmeinbauten sind ebenfalls nicht Bestandteil dieser Prüfung.

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. 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 Schweißverbindung im Einflussbereich des Turmkopfflansches und des Radius des Turmkopfflansches gemäß Zeichnung [32] wurden zunächst in [1] für den Grenzzustand der Ermüdung anhand von Spannungskonzentrationsfaktoren aus [30] durchgeführt. Dokument [30] wurde mit [31] bestätigt. Zusätzlich wurde in [3] ein Lastvergleich der einwirkenden statischen Lasten [12] und [13] mit den ursprünglich zur Zertifizierung verwendeten Lasten in [30] mittels Restsicherheitsbetrachtungen durchgeführt. Dokument [30] und [32] wurde mit [31] bestätigt. In einer zusätzlichen Berechnung wurden die Nachweise außerdem in [9] anhand von optimierten Spannungskonzentrationsfaktoren aus [33] durchgeführt. Dokument [33] wurde mit [34] bestätigt. Die Gültigkeit aller weiteren Nachweise in [33] wurde in [9] mittels Lastvergleich für den vorliegenden Turm nachgewiesen.

Der Ermüdungsnachweis der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wird mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung im Fundament wurden in Dokument [28] durchgeführt und mit [29] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [28] für den vorliegenden Turm gültig sind.

Die Nachweise der Einbauteile für die Befestigung der Podeste und Einbauten sind nicht Bestandteil dieser Prüfung.

Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [16] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,181 Hz bis 0,220 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\phi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$ betragen.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [12], [13] und [14] enthalten lediglich Effekte aus Theorie II. Ordnung. Zusätzliche Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m, sowie



Industrie Service

2024-07-03 08:04 UTC - y.foerster@boreas.de - Yvonne Förster
 Original Instruction: T05 0092-6451 VER 07

aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von $k_{\phi,stat} = 40 \text{ GNm/rad}$ wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von /1/ wurden für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. In Dokument [7] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen für Herstellung und Montage gemäß [7] sowie der rechnerischen Berücksichtigung der einseitigen Sonneneinstrahlung in [1] kann diese Abweichung akzeptiert werden.

Bauzustände, Querschwingungen:

Die Standsicherheit des Turms vor dem Vorspannen der Spannglieder wurde in [4] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [4] geführt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

	Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer
1	Nicht vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	12 Monate
2	Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	6 Monate
3	Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	2 Monate
4	Vorgespannter Betonturm mit 1. und 2. Stahlsektionen	2 Monate
5	Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	1 Monate
6	Vollständiger Turm und Gondel ohne Rotorblätter	1 Monat
7	Vollständig errichtete Anlage ohne Netzanschluss	12 Monate

Ermüdung:

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter des Adapters zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 42 Tagen angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für hochfeste Betone gemäß [26] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [27] angesetzt.

Betondeckung

In Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, NDP zu 4.4.1.3 (3) wurde das Vorhaltemaß der Betondeckung um 5 mm abgemindert.

T05 0092-6451 Ver 07 - Approved- Exported from DMS: 2023-12-14 by INVOL



Industrie Service

Teilsicherheitsbeiwert Betonfestigkeit

Für die Nachweise der Betonfertigteile wurde in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, Abschnitt A.2.3 ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{c, red} = 1,35$ angesetzt.

Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [2] für eine Bezugstemperatur $T = -30^{\circ}\text{C}$ durchgeführt.

Kerbfalklassen:

Gemäß [2] wurden für die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) die Kerbfalklassen gemäß [35] angesetzt. Dokument [35] wurde mit [36] bestätigt. Die angesetzten Kerbfalklassen sind in der Tabelle des Dokumentes [A8] dargestellt.

Ausführungsvarianten:

Die Variante mit Stahlqualität Q460E und Q355D für die Spanngliedverankerung im Fundament ist für eine Anwendung in Deutschland nicht zulässig.

Bezüglich der Ankerschrauben im Adapterelement sind 2 Varianten möglich:

- a) Mit Decordynbeschichtung gemäß [A3]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A4]

Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichts:

In den Zeichnungen [A1], [A5] und [A6] wurde das außenliegende Mantelblech des Adapters konstruktiv verlängert und im Bereich der äußeren Betondeckung des Adapters eine konstruktive Zusatzbewehrung angeordnet.

In der neuen Revision der Turmstatik [1] wurde der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd, fat}$ für Fertigteilelemente mit einem Versprödungsfaktor von 0,9 gemäß abZ [26] angesetzt. Auflage 17 aus der vorherigen Revision dieses Prüfberichts entfällt.

6. Prüfergebnis

Die Berechnung und die zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den Hybridturm entsprechen den in Abschnitt 2 genannten Normen und Richtlinien 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.

Der Turm der Windenergieanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [12] und [14] geeignet.

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

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [12] und [14] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
2. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss, auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen in Lastdokument [12] und [14] zu begrenzen.
3. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
4. Es ist für jede Anlage 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.

Stahlsektionen

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 belasteten 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 Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeinrichtungen) müssen mindestens den in Abschnitt 5 angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
11. Beim Anschweißen der Flansche an die Turmwand ist fachgerecht vorzuwärmen.
12. Die Prüfung der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.



Industrie Service

Betonteil

13. Infolge der Reduzierung des Vorhaltemaßes der Betondeckung der Fertigteilesegmente ist eine erhöhte Qualitätskontrolle gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 4.4.1.3 (3) bei der Herstellung erforderlich.
14. Aufgrund der Reduktion des Teilsicherheitsbeiwerts des Betons auf $\gamma_{c, red} = 1,35$ sind gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/, A.2.3 Maßnahmen zur erhöhten Qualitätssicherung erforderlich. Die Maßnahmen sind vom Hersteller in Abstimmung mit der zuständigen Überwachungsstelle festzulegen und zu dokumentieren.
15. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [21] bis [25] sowie für die Hochfestbetone [26] und geschweißten Bewehrungselemente [27] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
16. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version der Zulassungen [21] bis [27] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
17. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
18. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [5] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
19. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [5] heranzuziehen.
20. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung muss der Adapter mindestens 42 Tage alt sein

Prüfintervalle

21. Die planmäßige Vorspannung der Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt-Richtlinie /1/ (Abschnitt 13.1 Anmerkung 1) erneut zu kontrollieren und ggf. nachzuspannen.
22. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß der 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
 Prüfamf für Standsicherheit für die
 bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter

C. Reuter

Der Leiter

i.V. S. Mayer



Industrie Service

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-T21-001-XX-X-Uebersicht	j	Uebersichtsplan Gesamtturm NH=169m, V150, Spannglieds. „SUSPA“	2023-05-23
[A2]	DE-T21-096-XX-X-Bewehrung	g	Bewehrung Rohteile C- und S-Ringe (3-teilig)	2022-04-08
[A3]	DE-T21-AE1-HV-1-Schalplan	a	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0177772	2020-07-31
[A4]	DE-T21-AE1-HV-2-Schalplan	a	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0177773	2020-07-16
[A5]	DE-T21-AE1-K1-X-Bewehrung	e	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-09-21
[A6]	DE-T21-AE1-K1-X-Schalplan	b	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-05-23
[A7]	DE-T21-095-XX-X-Schalplan	b	Schalplan Rohteile C-Ringe	2020-11-06

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A8]	DE-T21-022-XX-X-Uebersicht	f	Übersichtsplan Stahlturm 169m NH	2022-11-10