



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 31.08.2022

Prüfnummer: 3667703-12-d

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm HA2A90A (T22)**
Windenergieanlage Vestas V162-6.8/7.2 MW,
169 m Nabenhöhe
Windzone S, Erdbebenzone 3
Lebensdauer: 25 Jahre

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

Hersteller Windenergieanlage: Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

Konstruktion und Berechnung Betonteil: 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: 30.08.2027

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:
3667703-12-
d_Bögl_V162_T22_HH169m_25
a.docx

Das Dokument besteht aus
15 Seiten.
Seite 1 von 15

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/impressum

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

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



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	31.08.2022	Erstfassung

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen3
 1.1. Geprüfte Unterlagen.....3
 1.2. Eingesehene Unterlagen.....3
 2. Prüfgrundlage5
 3. Beschreibung6
 3.1. Maße:.....7
 3.2. Baustoffe:.....7
 3.3. Lastannahmen:8
 4. Prüfumfang8
 5. Prüfbemerkungen.....8
 6. Prüfergebnis.....11
 Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne15

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 T22, Bauteil: Spannbetonturm“, 1081 Seiten, Dokument Nr. D00282004, Rev. 01, Datum 2022-08-24
- [2] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm T22“, 71 Seiten, Dokument Nr. D00282005, Rev. 0, Datum 2022-07-15
- [3] „Spannanweisung der Ankerstäbe, Max Bögl Hybridturm T22“, 24 Seiten, Dokument Nr. D00282006, Rev. 01, Datum 2022-08-24
- [4] „Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm T22“, 11 Seiten, Dokument Nr. D00282007, Rev. 01, Datum 2022-08-24
- [5] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm T22, Bauteil: Stahlturm“, 95 Seiten, Dokument Nr. D00282009, Rev. 01, Datum 2022-08-09
- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm T22“, 17 Seiten, Dokument Nr. D00282001, Rev. 01, Datum 2022-08-22
- [7] „Tower Top Flange ULS and FLS Strength Check for CHT Tower V162 6.8MW und 7.2 MW“, erstellt von Vestas, 12 Seiten, Dokument Nr. 0131-1200, Ver. 00, Datum 2022-08-23
- [8] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1

1.2. Eingesehene Unterlagen

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

Lasten:

- [9] „Combine Tower loads – HA2A90A, EV162-6.8/7.2 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH169 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas, 50 Seiten, Dokument Nr. 0121-5839, Ver. 01, Datum 2022-04-29
- [10] „Gutachtliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas Turbinen Vestas EnVentus V162-6.8 / 7.2 MW mit 169 m Nabenhöhe, Windzone S, 25 Jahre Entwurfslebensdauer“, erstellt von DNV GL Energy Renewables Certification, 10 Seiten, Dokument Nr. L-08867-A052-0B, Rev. 0, Datum 2022-06-24

Betonturm:

- [11] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 48 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [12] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 7 Seiten, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [13] „Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm“, 8 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03

- [14] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“ erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 16.04.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [15] 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
- [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] 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
- [18] 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
- [19] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten, Zulassungsnr. Z-3.51-2036, vom 24.01.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [20] 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, 8 Seiten, Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 29.05.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [21] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [22] „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
- [23] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, 8 Seiten, keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15

Stahlurm:

- [24] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm, 450 mm,3478 mm, S420NL EN 10025-3 (FORGED)“, erstellt von Vestas, 1 Blatt, Zeichnung Nr. 29266351, Ver. 1, Datum 2022-08-18
- [25] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm, 450 mm,3478 mm, S420NL EN 10025-3 (WELDED)“, erstellt von Vestas, 1 Blatt, Zeichnung Nr. 29266593, Ver. 1, Datum 2022-08-18

- [26] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm, 450 mm,3478 mm, S355NL EN 10025-3 (FORGED)“, erstellt von Vestas, 1 Blatt, Zeichnung Nr. 29266594, Ver. 1, Datum 2022-08-18
- [27] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm, 450 mm,3478 mm, S355NL EN 10025-3 (WELDED)“, erstellt von Vestas, 1 Blatt, Zeichnung Nr. 29266595, Ver. 1, Datum 2022-08-18
- [28] „Tower Top Flange – EnVentus Mk1BC Robust Version FE analysis - Fatigue/Extreme Loads Assessment“, erstellt von Vestas, 24 Seiten, Dokument Nr. 0122-6133, Ver. 02, Datum 2022-08-18
- [29] „Nachweis Turmkopfflansch für die EnVentus Mk1-Plattform“, erstellt von DNV Energy Systems Renewables Certification, 3 Seiten, Dokument Nr. LTR-04971-20220825-01, Rev. 1, Datum 2022-08-26
- [30] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 18 Seiten, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [31] „Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion - Stahlrohrturm Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 5 Seiten, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 1, Datum 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

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



Industrie Service

- /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 1090-2:2018 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2018“
- /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“
- /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 T22 der Windenergieanlage Vestas V162-6.8/7.2 MW besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 33 Segmenten und einem einteiligen Adapterring, 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 S01 und S21 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. Am oberen Ende der Vertikalfuge befindet sich eine Kontaktfläche zur Übertragung von Druckkräften, oben und unten werden Schraubelemente angeordnet.



Industrie Service

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:	9,148 m
Außendurchmesser Turmkopfflansch:	3,665 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

3.2. Baustoffe:

Betonteil:

Betonfertigteile	C100/115 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [19] C90/105 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [19] C80/95 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [19] Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [19] eingesetzt.
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [20]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [14] und [15] in Verbindung mit [16] bzw. [17] in Verbindung mit [18]
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014
Dübel in horizontaler Fuge	S235 JR+AR gemäß DIN EN 10025 und [11]
Gewindebolzen (Adapter)	M64-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /15/
Ankerring (Adapter)	S355 J2 gemäß DIN EN 10025
Lastverteilplatte (Adapter)	S355 J2 gemäß DIN EN 10025

Stahlteil:

Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
----------	------------------------------

Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025 mit Z15 Güte gemäß DIN EN 10164 für aus Blech hergestellte Flansche, die senkrecht zur Walzebene beansprucht werden
Turmfußflansch	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025 mit Z15 Güte gemäß DIN EN 10164 für aus Blech hergestellte Flansche, die senkrecht zur Walzebene beansprucht werden
Schraubengarnituren	M42-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/ M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/

3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Prüfung des Turms der oben genannten Windenergieanlage sind in [9] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [10] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre gemäß [10].

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [10] 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: 324 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 gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

Weitere Prüfungen wie die Überprüfung der Bauausführung, der Standorteignung, des Fundaments, des Blitzschutz-/Erdungskonzepts und der Turmeinbauten sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lasten, 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 Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich und seines Radius gemäß Zeichnungen [24] bis [27] wurden in [7] anhand von Spannungskonzentrationsfaktoren aus [28] durchgeführt. Dokument [28] wurde mit [29] bestätigt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung im Fundament wurden in Dokument [21] durchgeführt und mit [22] bestätigt. Ergänzend wurde in [1] ein detaillierter Ermüdungsnachweis der Ankerstangen gemäß Punkt 5.4.4 von [22] geführt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Randbedingungen der Nachweise in [21] für den vorliegenden Turm eingehalten 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 [10] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,183 Hz bis 0,206 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\varphi,dyn} = 200 \text{ GNm/rad}$ betragen.

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 2.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [9] enthalten lediglich Effekte aus Theorie II. Ordnung. Zusätzliche Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von $k_{\varphi,stat} = 40 \text{ GNm/rad}$ wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von /1/ wurden für die Turmschiefstellung statt 5 mm/m lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt. In Dokument [13] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [13] und 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 [2] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [2] geführt. Die zeitliche Beschränkung gilt für den Fall, dass die angegebenen maximalen Windgeschwindigkeiten überschritten werden. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung, siehe Auflage 5.



Industrie Service

Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit	
Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	1 Jahr	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 16,4 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 12,0 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 10,0 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 7,1 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 4,0 m/s nicht überschreiten
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	456 Tage über die Lebensdauer	

Kerbfalklassen:

Für die Berechnung des Turmes in [5] wurden die Kerbfalkategorien, sofern nicht anders angegeben gemäß DIN EN 1993-1-9 /8/ Bild 7.1, folgendermaßen angesetzt:

Lage gemäß Zeichnung [A9]	Kerbfalkategorie / Anforderung
Zusätzlich an der Turmwand befestigte Teile	
Kerbfalklassen gemäß [30] und [31]. Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfalklassen sind auf der Turmzeichnung [8] ([A9]) definiert.	
Rundnähte (wenn zutreffend auf beiden Seiten des genannten Bleches)	
Stumpfnäht zum Turmkopfflansch	KFK 90
Alle anderen Rundnähte	KFK 90

Ein Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit wurde nicht angesetzt.

Ermüdung:

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter der Betonfertigteilesegmente zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 37 Tagen und das Alter des Adapters mit 90 Tagen angesetzt.

Der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit des Betons $f_{cd,fat}$ wurde abweichend von /4/ und auch abweichend von der abZ [19] mit einem Versprödungsfaktor von 1,0 angesetzt. Dieser Rechenwert ist durch eine Aktualisierung der abZ [19] oder durch einen entsprechenden bautechnischen Nachweis (Typengenehmigung) zu bestätigen, andernfalls sind neue Nachweise zur Ermüdung vorzulegen.



Industrie Service

Der charakteristische Wert der aufnehmbaren Schwingbreite für $N^* = 10^6$ Lastzyklen $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente wurde abweichend von /4/ und abweichend von der abZ [14] mit 45 Mpa angesetzt. Dieser Rechenwert ist durch eine Aktualisierung der abZ [14] oder durch einen entsprechenden bautechnischen Nachweis (Typengenehmigung) zu bestätigen, andernfalls sind neue Nachweise zur Ermüdung vorzulegen.

Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [5] für eine Bezugstemperatur $T_{Ed} = -30^\circ\text{C}$ durchgeführt.

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.

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.

Ausführungsvarianten:

Bezüglich der Ankerschrauben im Adapterelement sind 2 Varianten möglich:

- a) Mit Decordynbeschichtung gemäß [A7]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A8]

Änderungen Einbauteile:

Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten im Btonteil haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Turmes.

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 [9] geeignet.

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

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [9] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.



Industrie Service

2. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss, auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen im Lastdokument [9] 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 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 den auf der Zeichnung [8] [A9] angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
11. Die Schweißnähte des Turmes müssen den Anforderungen der Kerbfallklassen gemäß Abschnitt 5 entsprechen.
12. Die Prüfung der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

Betonteil

13. Infolge der Reduzierung des Vorhaltemaßes der Betondeckung der Fertigteilsegmente 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.



Industrie Service

15. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [14] bis [18] sowie für die Hochfestbetone [19] und geschweißten Bewehrungselemente [20] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
16. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version der zitierten Zulassungen [14] bis [20] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit der hier zitierten Version nachzuweisen.
17. Die gewählten Ansätze für die Ermüdungsfestigkeit des Betons sind mit einer aktualisierten abZ [19] zu bestätigen. Die aktualisierte abZ [19] oder ein entsprechender bautechnischer Nachweis (Typengenehmigung) ist unaufgefordert vorzulegen und muss vor Inbetriebnahme des ersten Turms der hier genannten Anlage vorliegen. Falls der allgemeine Anwendbarkeitsnachweis noch nicht rechtzeitig erteilt sein sollte, ist für den verwendeten Ansatz eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung als Anwendbarkeitsnachweis vorzulegen. Dieser Nachweis kann bei der jeweils zuständigen Obersten Baubehörde beantragt werden.
18. Die gewählten Ansätze für die Ermüdungsfestigkeit der Spannglieder sind mit einer aktualisierten abZ [14] zu bestätigen. Die aktualisierte abZ [14] oder ein entsprechender bautechnischer Nachweis (Typengenehmigung) ist unaufgefordert vorzulegen und muss vor Inbetriebnahme des ersten Turms der hier genannten Anlage vorliegen. Falls der allgemeine Anwendbarkeitsnachweis noch nicht rechtzeitig erteilt sein sollte, ist für den verwendeten Ansatz eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung als Anwendbarkeitsnachweis vorzulegen. Dieser Nachweis kann bei der jeweils zuständigen Obersten Baubehörde beantragt werden.
19. 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. Die Druckfestigkeit des Vergussmörtels muss zum Zeitpunkt des Vorspannes $\geq 30 \text{ N/mm}^2$ betragen.
20. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
21. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [3] heranzuziehen. Es ist bei beiden Vorspannstufen eine Qualitätskontrolle des Anziehvorgangs nach DIN EN 1090-2 /10/, 12.5.2 durchzuführen, um eine stichprobenartige Überprüfung des erzielten Vorspanniveaus sicherzustellen.
22. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung müssen die Fertigteilesegmente mindestens 37 Tage und der Adapter mindestens 90 Tage alt sein. Der rechnerisch angesetzte Wert für die Nacherhärtung des Betons vom Adapter $\beta_{cc} = 1,09$ ist durch erweiterte Erstprüfungen und Produktionskontrollen nachzuweisen.
23. Der rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons im Adapter zwischen 45.000 N/mm^2 und 53.000 N/mm^2 ist sicherzustellen.

Prüfintervalle

24. 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. Wenn die 2. Vorspannstufe der Ankerschrauben des Adapters innerhalb dieses Zeitraums aufgebracht wird, kann die zuvor genannte Prüfung dieser Ankerschrauben hierdurch ersetzt werden.
25. 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
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-T22-001-XX-X- Uebersicht	a	Uebersichtsplan Gesamtturm, NH = 169.0 m, Spannglieds. "SUSPA"	2022-08-23
[A2]	DE-T22-095-XX-X- Schalplan	-	Schalplan Rohteile C- und S-Ringe	2022-07-06
[A3]	DE-T22-096-XX-X- Bewehrung	-	Bewehrungsplan Rohteile C- und S- Ringe (3-teilig)	2022-07-06
[A4]	DE-T22-AE1-K1-X- Schalplan	a	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2022-08-23
[A5]	DE-T22-AE1-K1-X- Bewehrung	a	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2022-08-23
[A6]	DE-T22-M008 Montageplan	-	Fugendetailplan	2022-07-06
[A7]	XX-XXX-M64-HV-1- Schalplan	c	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbe- schichtung T0177772	2021-01-25
[A8]	XX-XXX-M64-HV-2- Schalplan	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpf- schlauch T0177773	2021-01-25

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A9]	DE-T22-022-XX-X- Uebersicht	C	Übersichtsplan Stahlturm 169m NH	2022-08-30

Anhang ist geschwärzt und nicht öffentlich Einsehbar