



**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 22.04.2024

Prüfnummer: 3788612-12-d Rev. 1

Objekt: Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm
HACAF00 (Bögl T23)
Windenergieanlage Vestas V172-6.8/7.2 MW,
175 m Nabenhöhe
Windzone S, Erdbebenzone 3
Lebensdauer: 25 Jahre

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

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

Gültig bis: 04.06.2028

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC

Dokument:
3788612-12-d Rev.
1_Bögl_V172_T23_HH175m_25
a_neu.docx

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 tuvsud.com/impressum

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

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

tuvsud.com/de-is
Telefon: 089 5791-3146

TÜV®



Revision	Datum	Änderungen
0	05.06.2023	Erstfassung
1	22.04.2024	Neue Revision der Dokumente [1] bis [7], [9], [10], [19], [22], [25], [29] und [30] sowie [A1] bis [A6] und [A9]. Neue Dokumente [26] bis [28] sowie /10/ und /11/. Entfernung der Auflagen 6 und 18. Redaktionelle Änderungen.

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen3

1.1. Geprüfte Unterlagen.....3

1.2. Eingesehene Unterlagen.....3

2. Prüfgrundlage5

2.1. Angewendete Richtlinien und Normen5

2.2. Berücksichtigte Richtlinien und Normen6

3. Beschreibung6

3.1. Maße:.....7

3.2. Baustoffe:.....7

3.3. Lastannahmen:8

4. Prüfumfang8

5. Prüfbemerkungen.....8

6. Prüfergebnis.....12

Auflagen12

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne.....15



1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

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

- [1] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm DE_T23, Bauteil: Spannbetonturm“, Dokument Nr. D00354100, Rev. 04, Datum 2024-03-22
- [2] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm T23, Bauteil: Stahlurm“, Dokument Nr. D00350378, Rev. 04, Datum 2024-03-07
- [3] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354101, Rev. 02, Datum 2024-04-05
- [4] „Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354103, Rev. 03, Datum 2024-04-05
- [5] „Spannanweisung der Ankerstangen im Adapter, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354102, Rev. 03, Datum 2024-04-05
- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354110, Rev. 04, Datum 2024-04-05
- [7] „Tower Top Flange ULS and FLS Strength Check for CHT Tower V172 6.8MW and 7.2 MW“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Dokument Nr. 0144-4778, Rev. 01, Datum 2024-01-11
- [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 – HACAF00, EV172-6.8/7.2 MW, Mk1C, DIBtS, HH175 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Dokument Nr. 0138-4584, Ver. 03, Datum 2023-12-21
- [10] „Vestas Enventus MK1 Gutachtliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas Turbinen“, erstellt von DNV Renewables Certification GmbH, Dokument Nr. L-08867b-A052-2, Rev. 2, Datum 2024-03-15

Betonturm:

- [11] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [12] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [13] „Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm“, Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [14] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“ erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 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, Zulassungs-nr. 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, 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, Zulassungs-nr. 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, Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020
- [19] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 26.02.2024, Geltungsdauer bis 15.02.2029
- [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, 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: Spannglied-verankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [22] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8118409048-006-001-03, Rev. 3, Datum 2023-08-28
- [23] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15
- [24] Gutachten „Modell für die Ermüdungsbemessung hochfester Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, keine Dokument Nr., Datum 2020-09-29

Stahlturn:

- [25] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S420NL EN 10025-3 (FORGED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266351, Ver. 4, Datum 2023-08-04
- [26] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S420NL EN 10025-3 (WELDED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266593, Ver. 4, Datum 2023-08-04
- [27] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S355NL EN 10025-3 (FORGED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266594, Ver. 4, Datum 2023-08-04



- [28] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S355NL EN 10025-3 (WELDED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266595, Ver. 4, Datum 2023-08-04
- [29] „Tower Top Flange - EnVentus Mk1BC Robust Version FE analysis – Fatigue/Extreme Loads Assessment“, erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0122-6133, Ver. 04, Datum 2023-09-14
- [30] „Nachweis Turmkopfflansch für die EnVentus Mk1-Plattform“, erstellt von DNV Energy Systems Renewables Certification, Dokument Nr. LTR-04971-20220825-01, Rev. 3, Datum 2023-09-29
- [31] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [32] „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, 2020-03-20

2. Prüfgrundlage

2.1. Angewendete Richtlinien und Normen

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Richtlinien und Normen:

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

2.2. Berücksichtigte Richtlinien und Normen

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /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 „Schraubenverbindungen 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 HACAF00 (Bögl T23) der Windenergieanlage Vestas V172-6.8/7.2 MW besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonanteil besteht aus 36 Segmenten und einem einteiligen Adapterring, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen und zylindrischen 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 27 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.



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:	175 m
Gesamtlänge Turm:	169,73 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	9,428 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmkopfflansch:	3,665 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

3.2. Baustoffe:

Betonteil:

Betonfertigteile	C100/115, C90/105, 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
Turmfußflansch	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /13/ 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/NA /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.

Turm Kopfmasse: 332 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 2.1 genannten Prüfgrundlagen.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument 2.1, 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 2.1 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

Schnittstellen:

Die Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich und seines Radius gemäß den Zeichnungen [25] bis [28] wurde in [7] anhand der Turmkopfflanschstatik [29] durchgeführt. Dokument [29] wurde mit [30] 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. 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 mit ausreichender Genauigkeit innerhalb im Lastgutachten [10] angegebenen Gültigkeitsbereich (0,174 Hz bis 0,205 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$ betragen.

Die Eigenfrequenz kann auch im Bereich der möglichen Erregerfrequenzen der Anlage liegen. 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 mindestens $k_{\varphi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$ wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von 2.1 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 [3] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [3] geführt. Die zeitliche Beschränkung gilt für den Fall, dass die angegebenen maximalen Windgeschwindigkeiten überschritten werden. Querschwingungen vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe der Ankerstangen am Adapter wurden nicht berücksichtigt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung, siehe Auflage 5.



Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit	
Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	1 Jahr	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 14,3 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 10,8 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 9,5 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 7,0 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 4,1 m/s nicht überschreiten
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	456 Tage über die Lebensdauer	

Kerbfalklassen:

Für die Berechnung des Turmes in [2] wurden die Kerbfalkategorien, sofern nicht anders angegeben gemäß DIN EN 1993-1-9 /8/ Bild 7.1, folgendermaßen angesetzt:

Lage gemäß Zeichnung [8] ([A9])	Kerbfalkategorie / Anforderung
Zusätzlich an der Turmwand befestigte Teile	
Kerbfalklassen gemäß [31] und [32] Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfalklassen sind auf der Turmzeichnung [8] ([A9]) definiert.	
Rundnähte (wenn nicht anderes angegeben oben und unten am genannten Blech)	
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 Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung gemäß [1] folgendermaßen angesetzt:

Position	Beginn der zyklischen Belastung t_0	Beiwert für die Betonfestigkeit bei Erstbelastung $\beta_{cc}(t_0)$
Adapter	90 Tage	1,09
S01	149 Tage	1,12
S02 – S13	82 Tage	1,09
S14 – ZA5-X	34 Tage	1,02

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für hochfeste Betone gemäß [19] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [20] angesetzt.

Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [2] 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 Betonteil haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Turmes.

Änderungen in der letzten Revision des Prüfberichtes:

Das Lastdokument [9] wurde aktualisiert und mit [10] bestätigt. Die geänderten Lasten wurden in den Dokumenten [1] bis [7] sowie [A2] (Anpassung der Lage der Stahldübel bis Fuge S26/27) und [A3] (Erhöhung der Bewehrung in den Betonsegmenten) berücksichtigt.

Die Geometrie des Stahlteils des Hybridturms in [A9] wurde leicht angepasst. Die Änderungen wurden in [2] mit aufgenommen.



Für den Turmkopfflansch wurden weitere Zeichnungen [26] bis [28] als alternative Ausführungsvarianten ergänzt. Diese sind mit der statischen Berechnung [29] abgedeckt und mit [30] bestätigt. In [7] wurden diese Änderungen ebenfalls berücksichtigt.

An den Zeichnungen [A1] und [A4] bis [A6] sowie in der Spannanweisung der Spannglieder [4] wurden formelle Änderungen vorgenommen, die keinen Einfluss auf die baustatischen Nachweise haben.

In den neuen Revisionen der Turmstatiken [1] und [3] wurde der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für Fertigteilelemente mit einem Versprödungsfaktor von 0,9 gemäß abZ [19] angesetzt. Auflage 18 aus der vorherigen Revision dieses Prüfberichts entfällt. Eine neue Version der abZ/abG [19] wurde aufgenommen.

Die Spannanweisung der Ankerstangen [5] wurde aufgrund der angepassten Berechnungen in der Turmstatik [1] geändert.

Das erforderliche Mindestalter der Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung wurde gemäß den Angaben in Abschnitt 5 angepasst sowie die zugehörige Auflage 20 überarbeitet.

Die Zeichnungen [A1] bis [A6] sowie [A9] wurden ohne Entwurfsstempel überarbeitet. Die Auflage 6 aus Revision 0 dieses Prüfberichts entfällt.

Die Erdbebenzone wurde zu Erdbebenzone 3 geändert.

6. Prüfergebnis

Die Berechnung und die zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den Hybridturm entsprechen den in Abschnitt 2.1 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.
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. Vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe der Ankerstangen sind wirbelerregten Querschwingungen durch geeignete Maßnahmen auszuschließen.

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. Besteigeeinrichtungen) müssen mindestens den in Abschnitt 5 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.
15. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [14] bis [18] sowie für die hochfesten Betone [19] und die 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. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeiten des Vergussmörtels und des Betons 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 und des Betons muss zum Zeitpunkt des Vorspannens der Spannglieder mindestens die Festigkeit aus Kap. 1.2 von [3] betragen.
18. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
19. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [5] heranzuziehen. Es ist bei beiden Vorspannstufen eine Qualitätskontrolle des Anziehvorgangs nach DIN EN 1090-2 /12/, 12.5.2 durchzuführen, um eine stichprobenartige Überprüfung des erzielten Vorspanniveaus sicherzustellen.
20. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung müssen die Fertigteilsegmente das Mindestalter gemäß Abschnitt 5 aufweisen. Der dabei rechnerisch angesetzte Werte für die Nachhärtung des Betons gemäß Abschnitt 5 kann alternativ auch messtechnisch nachgewiesen werden.

Prüfintervalle

21. Die planmäßige Vorspannung der Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt-Richtlinie 2.1 (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.
22. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß der DIBt-Richtlinie 2.1 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. Stiglmeier

Der Leiter

i.V. S. Mayer



Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-T23-001-XX-X- Uebersicht	b	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 175.0 m, Spannglieds. „SUSPA“	2023-11-27
[A2]	DE-T23-095-XX-X- Schalplan	b	Schalplan Rohteile C- , S- und Z-Ringe	2024-04-19
[A3]	DE-T23-096-XX-X- Bewehrung	e	Bewehrung Rohteile C-, S- und Z-Ringe(3-teilig)	2024-03-22
[A4]	DE-T23-AE1-K1-X- Schalplan	b	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-12-15
[A5]	DE-T23-AE1-K1-X- Bewehrung	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2024-04-18
[A6]	DE-T23-M008- Montageplan	a	Fugendetailplan	2023-12-15
[A7]	XX-XXX-M64-HV-1- Schalplan	c	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decor- dynbe- schichtung T0177772	2021-01-25
[A8]	XX-XXX-M64-HV-2- Schalplan	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0177773	2021-01-25

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A9]	DE-T23-022-XX-X- Uebersicht	f	Übersichtsplan Stahlturm	2024-01-23