



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 08.11.2023

**Prüfnummer:** 3108363-14-d Rev. 6

**Objekt:** Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm HA2A901  
(T20)  
Windenergieanlagen Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 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:** 16.02.2025

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:  
3108363-14-  
d\_Rev6\_Vestas\_V162\_HH169m  
\_25Jahre\_Hybridturm T20

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](http://www.tuvsud.com/impressum)

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

Telefon: +49 89 5791-  
Telefax: +49 89 5791-  
[www.tuvsud.com/de-is](http://www.tuvsud.com/de-is)

**TÜV**<sup>®</sup>

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Energie und Systeme  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	17.02.2020	Erstfassung
1	12.01.2021	Formulierung in Kap. 4 angepasst. Dokumente [1], [2], [8], [12] und [15] aktualisiert. Dokument [11], [25] und [26] ergänzt. Dokumente [3] bis [7] behalten ihre Gültigkeit.
2	20.01.2022	Dokumente [1], [2], [4], [5], [6], [9], [12], [13], [18] und [27] aktualisiert. Dokumente [8] und [19] bis [22] ergänzt. Dokument [28] durch aktuelles Maschinengutachten ersetzt. Dokumente [3] und [7] behalten ihre Gültigkeit. Erweiterung der Gültigkeit für Leistungsklasse 6.2 MW. Aktuelle Zulassungen zum Spanverfahren ergänzt.
3	25.02.2022	Dokument [12] aktualisiert. Dokumente [1] bis [9] behalten ihre Gültigkeit.
4	05.12.2022	Neue Dokumente [10], [30] und [31] hinzugefügt. Dokumente [1] bis [9] bleiben weiterhin gültig. Neue Revision Dokument [29]. Redaktionelle Änderungen.
5	10.01.2023	Neues Dokument [11]. Dokumente [2], [5], [16], [17], [27], [A1], [A2] und [A8] aktualisiert. Dokumente [8] und [28] ersetzt. Umstellung auf die Spanngliedverankerung 3.0. Anforderung an die dynamische Bodendrehfedersteifigkeit im Bericht korrigiert. Redaktionelle Änderungen.
6	08.11.2023	Dokumente [1] und [28] aktualisiert. Zeichnungen [A1], [A5] und [A6] aktualisiert.

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



Industrie Service

**Inhaltsverzeichnis**

1.	Unterlagen .....	4
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	4
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	4
2.	Prüfgrundlage .....	6
3.	Beschreibung .....	8
3.1.	Maße:.....	8
3.2.	Baustoffe:.....	8
3.3.	Lastannahmen: .....	9
4.	Prüfumfang .....	9
5.	Prüfbemerkungen.....	10
6.	Prüfergebnis.....	12
	Auflagen.....	13
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne .....	15

2024-07-03 08:38 UTC - y.foerster@boreas.de - Yvonne Förster  
Original Instruction: T05 0091-9165 VER 06

T05 0091-9165 Ver 06 - Approved- Exported from DMS: 2023-12-19 by INVOL



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 T20, Spannbetonturm", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. g, Datum 2023-10-30
- [2] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T20, Stahlturm", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. d, Datum 2022-12-20
- [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 T20 – Variante 169mNH, Spannbetonturm", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. c, Datum 2021-10-15
- [5] "Spannanweisung der Spannglieder Max Bögl Hybridturm T20, Spannbetonturm", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. d, Datum 2022-04-13
- [6] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm T20", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. c, Datum 2021-10-15
- [7] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", Dokument Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [8] "Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm T20", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. 0, Datum 2022-05-02
- [9] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1
- [10] „Tower Top Flange - EnVentus MK0BC, Strength Verification for V162 DIBt Towers“, Dokument Nr. 0120-9308, Revision 0, Datum 2022-02-22
- [11] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm DE-T20 mit Spanngliedverankerung 3.0", Projekt Nr. 21683-T20, Rev. a, Datum 2022-05-09

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

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

#### **Lasten:**

- [12] "Combine tower loads, V162- 5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 166 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0088-6982, Rev. 05, Datum 2020-01-30
- [13] "Combine tower loads, V162- 5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 169 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0088-4552, Rev. 06, Datum 2020-01-31
- [14] "Tower Loads Comparison – HA2A600/HA2A900 EV162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH166/169 m", erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0098-7766, Rev. 05, Datum 2021-11-24



Industrie Service

- [15] „Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 25 Jahre) für Windzone S“, erstellt von DNV GL, Dokument Nr. L-05629-A052-4, Rev. 4, Datum 2021-12-10

#### **Betonturm:**

- [16] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [17] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [18] Zeichnung „Fugendetailplan“, erstellt von Max Bögl, Dokument Nr. DE-T20-M008-Montageplan, Rev. a, Datum 2020-12-10
- [19] 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, Zulassungs-nr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [20] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-13.3-141, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 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
- [24] 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
- [25] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [26] 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 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [27] „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



Industrie Service

- [28] "Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spann-  
 gliedverankerung 3.0 – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spann-  
 gliedverankerung 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:

- [29] "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
- [30] "Maschinengutachten der Windenergieanlage V162-5.4 MW / V162-5.6 MW / V162-6.0 /  
 V162-6.2 MW der Firma Vestas Wind Systems A/S mit Stahltürmen für 119 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 (Sicherheitgutachten) und der  
 elektrotechnischen Komponenten und des Blitzschutzes, sowie zu Bedienungsanleitung,  
 Inbetriebnahmeprotokoll (Vordruck) und Wartungspflichtenbuch", erstellt von DNV Energy  
 Systems Renewables Certification, 67 Seiten,  
 Dokument Nr. M-05919-0, Revision 6, Datum 2022-07-01
- [31] „Tower Top Flange - EN MK0BC FE analysis – Fatigue/Extreme Loads Assessment“,  
 Dokument Nr. 0110-9432, Revision 1, Datum 2022-01-27
- [32] „Nachweis Turmkopfflansch für die EnVentus Mk0B und Mk0C“, erstellt von DNV Energy  
 Systems Renewables Certification,  
 Dokument Nr. LTR-04192-20220216, Revision 0, Datum 2022-02-16
- [33] Zeichnung "FL Ø4008/Ø3730X430(Ø3820) FORGED S355NL", erstellt von Vestas Wind  
 Systems A/S,  
 Zeichnung Nr. 75958886, Rev. 0, Datum 2019-09-10
- [34] "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
- [35] "Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Stahlrohrturm – Strukturmecha-  
 nische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen", erstellt von TÜV SÜD In-  
 dustrie 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

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; Deut-  
 sche 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



Industrie Service

- /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“
- /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



Industrie Service

/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 T20 der Windenergieanlage Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 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 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. 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 [25]
	C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [25]
	Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [25] eingesetzt
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und abZ [26]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt gemäß [20] und [21] in Verbindung mit [23] bzw. [22] in Verbindung mit [24]





Industrie Service

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 V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit Nabenhöhe 169 m sind in [13] und [14] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [15] 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. Mit Dokument [14] wurden neue Lasten eingeführt und durch eine neue Revision des Lastgutachtens [15] bestätigt. Zudem wurden in [14] die neuen Lasten mit denen aus [12] und [13] verglichen und gezeigt, dass die Nachweise in [1] gültig bleiben.

In [12] und [13] sind für die Ermüdungsnachweise an den Turmschnitten mehrere Markov-Matrizen zur Erfassung der Lebensdauer- und Nabenhöhenvarianten 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.

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: 287 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.

Die Prüfung von Turm und Fundament ist vollständig abgeschlossen, wenn die Prüfberichte zu Turm und Fundament sowie das Lastgutachten vorliegen. Vor Baubeginn der Anlage sind darüber hinaus die weiteren gutachtlichen Stellungnahmen gemäß Abschnitt 3 der DIBt-Richtlinie /1/ sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid eines Prüfamts vorzulegen.

Weitere Prüfungen wie die Überprüfung der Bauausführung, von Bau- und Transportzuständen, der Standorteignung, des Fundaments, des Blitzschutz-/Erdungskonzepts und der Turmeinbauten sind nicht Gegenstand dieses Berichtes. Einbauteile für Montagehilfen und Turmeinbauten sind ebenfalls nicht Bestandteil dieser Prüfung.



Industrie Service

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 Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich und seines Radius gemäß Zeichnung [33] wurden zunächst in [2] für den Grenzzustand der Ermüdung anhand von Spannungskonzentrationsfaktoren aus [29] durchgeführt. Dokument [29] wurde mit [30] bestätigt. In einer zusätzlichen Berechnung wurden die Nachweise außerdem in [10] anhand von optimierten Spannungskonzentrationsfaktoren aus [31] durchgeführt. Dokument [31] wurde mit [32] bestätigt. Die Gültigkeit aller weiteren Nachweise in [31] wurde in [10] 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 [27] durchgeführt und mit [27] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [27] 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 [15] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,181 Hz bis 0,211 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$  betragen.

### **Imperfektionen:**

Die Lasten aus [12] und [13] 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  $k_{\varphi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$  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.



Industrie Service

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen für Herstellung und Montage gemäß [7] 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.

	<b>Bauzustand / vorübergehender Zustand</b>	<b>Gesamte maximale Dauer</b>
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	2 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 der Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung folgendermaßen angesetzt:

<b>Position</b>	<b>Beginn der zyklischen Belastung <math>t_0</math></b>	<b>Beiwert für die Betonfestigkeit bei Erstbelastung <math>\beta_{cc}(t_0)</math></b>
Adapter	87 Tage	1,09
S01 - S10 (C100/115)	90 Tage	1,09
S11 - C31 (C80/95)	45 Tage	1,04

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd, fat}$  für hochfeste Betone gemäß [25] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{Rsk}$  für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [26] 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.

**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.

### Kerbfallklassen:

In [2] wurden für die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) die Kerbfallklassen gemäß [34] angesetzt. Dokument [34] wurde mit [35] bestätigt. Die angesetzten Kerbfallklassen 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 [25] angesetzt. Auflage 17 aus der vorherigen Revision dieses Prüfberichts entfällt.

Das erforderliche Mindestalter der Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung wurde gemäß den Angaben in Abschnitt 5 angepasst.

## 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.



Industrie Service

## 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.

### 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.



Industrie Service

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 [20] bis [22] sowie für die Hochfestbetone [25] und geschweißten Bewehrungselemente [26] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
16. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version aller zitierten Zulassungen 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 [6] heranzuziehen.
20. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung müssen die Fertigteilsegmente das Mindestalter gemäß Abschnitt 5 aufweisen. Der dabei rechnerisch angesetzte Wert für die Nacherhärtung 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 /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  
 Prüfamts 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-T20-001-XX-X-Uebersicht	h	Uebersichtsplan Gesamtturm NH=169m, V162, Spannglieds. „SUSPA“	2023-05-11
[A2]	DE-T20-096-XX-X-Bewehrung	e	Bewehrung Rohteile C- und S-Ringe (3-teilig)	2022-04-01
[A3]	DE-T20-AE1-HV-1-Schalplan	c	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0177772	2021-10-26
[A4]	DE-T20-AE1-HV-2-Schalplan	c	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0177773	2021-10-25
[A5]	DE-T20-AE1-K1-X-Bewehrung	g	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-07-18
[A6]	DE-T20-AE1-K1-X-Schalplan	c	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-05-22
[A7]	DE-T20-095-XX-X-Schalplan	d	Schalplan Rohteile C- und S-Ringe	2021-10-25

**Stahlteil (erstellt von Max Bögl)**

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A8]	DE-T20-022-XX-X-Uebersicht	h	Übersichtsplan Stahlturm 169m NH	2022-12-13