



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 12.01.2021

**Prüfnummer:** 3108363-14-d Rev.1

**Objekt:** Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm T20  
Windenergieanlagen Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW,  
169 m Nabenhöhe  
Windzone S, Erdbebenzone 3  
Entwurfslebensdauer: 25 Jahre

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

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

**Gültig bis:** 16.02.2025

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/BP

Dokument:  
3108363-14-  
d\_Rev1\_Vestas\_V162\_HH169m  
\_25Jahre\_Hybridturm T20.docx

Das Dokument besteht aus  
13 Seiten.  
Seite 1 von 13

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.



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.

**Inhaltsverzeichnis**

1. Unterlagen ..... 3

1.1. Geprüfte Unterlagen..... 3

1.2. Eingesehene Unterlagen..... 3

2. Prüfgrundlage ..... 5

3. Beschreibung ..... 6

3.1. Maße:..... 6

3.2. Baustoffe:..... 7

3.3. Lastannahmen: ..... 7

4. Prüfumfang ..... 8

5. Prüfbemerkungen..... 8

6. Prüfergebnis..... 10

Auflagen..... 11

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne ..... 13

## **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", 167 Seiten, Projekt Nr. 21683-T20, Rev. c, Datum 2020-12-01
- [2] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T20, Stahlturm", 111 Seiten, Projekt Nr. 21683-T20, Rev. b, Datum 2020-12-01
- [3] "Tower Top Flange Strength Check for CHT Towers V150 V162", erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 9 Seiten, Dokument Nr. 0091-4917, Rev. 0, Datum 2020-02-06
- [4] "Statische Berechnung der Bauzustände Max Bögl Hybridturm T20 – Variante 169mNH, Spannbetonturm", 56 Seiten, Projekt Nr. 21683-T20, Rev. a, Datum 2020-01-30
- [5] "Spannanweisung der Spannglieder Max Bögl Hybridturm T20, Spannbetonturm", 10 Seiten, Projekt Nr. 21683-T20, Rev. b, Datum 2020-02-12
- [6] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm T20", 26 Seiten, Projekt Nr. 21683-T20, Rev. a, Datum 2020-01-30
- [7] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", 8 Seiten, Dokument Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [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, V162- 5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 166 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, 55 Seiten, Dokument Nr. 0088-6982, Rev. 05, Datum 2020-01-30
- [10] "Combine tower loads, V162- 5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH 169 m, 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, 59 Seiten, Dokument Nr. 0088-4552, Rev. 06, Datum 2020-01-31
- [11] "Tower Loads Comparison – HA2A600/HA2A900 EV162-5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH166/169 m 50/60 Hz, GS", erstellt von Vestas, 31 Seiten, Dokument Nr. 0098-7766, Rev. 01, Datum 2020-10-02
- [12] "Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V162- 5.6 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 25 Jahre) für Windzone WZ2GK2 (S)", erstellt von DNV GL, 6 Seiten, Dokument Nr. L-05629-A052-4, Rev.2, Datum 2020-12-08



Industrie Service

### Betonturm:

- [13] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl, 47 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. f, Datum 2020-02-17
- [14] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 7 Seiten, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 0, Datum 2020-02-17
- [15] Zeichnung „Fugendetailplan“, erstellt von Max Bögl, 1 Blatt, Dokument Nr. DE-T20-M008-Montageplan, Rev. a, Datum 2020-12-10
- [16] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 39 Seiten, Zulassungs-nr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [17] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten, Zulassungs-nr. Z-13.3-141, vom 15.04.2019, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [18] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten, Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [19] 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 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [20] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 54 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. b, vom 2019-06-27
- [21] „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, 7 Seiten, Dokument Nr. 8116 986 268-6 D, Rev. 0, vom 2019-07-04

### Stahlurm:

- [22] „Tower Top Flange FE analysis TFV20/TFV21/TFV22/TFV23“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 40 Seiten, Dokument Nr. 0087-3549, Rev. 0, Datum 2019-08-06
- [23] „Nachweis Turmkopfflansch für die EnVentus-Plattform“, erstellt von DNV GL Energy Renewables Certification, 3 Seiten, Dokument Nr. LTR-05017-20191107, Rev. 0, Datum 2019-11-07
- [24] Zeichnung „FL Ø4008/Ø3730X430(Ø3820) FORGED S355NL“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 1 Blatt, Zeichnung Nr. 75958886, Rev. 0, Datum 2019-09-10
- [25] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzepts Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 18 Seiten, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04



Industrie Service

- [26] „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, 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; 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“



Industrie Service

- /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 “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 T20 der Windenergieanlage Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 31 Segmenten, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen Betonfertigteilelemente haben einen kreisringförmigen Querschnitt und werden aus Drittelschalen zusammengesetzt. Die horizontalen Fugen zwischen den Betonfertigteilen werden planmäßig trocken ausgeführt. In den horizontalen Fugen zwischen Segmenten C02 und C21 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



Industrie Service

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

### 3.2. Baustoffe:

Betonfertigteile	C100/115 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [18] C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [18] Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [18] eingesetzt
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und abZ [19]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt ge- mäß [16] in Verbindung mit [17]
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 MW mit Nabhöhe 166 m sind in [9] und [11] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [12] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. In [1] wurden die Lasten für die Grenzzustände der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit aus [9] und [10] verglichen und die Nachweise mit den jeweils maßgebenden Lasten geführt. Mit Dokument [11] wurden neue Lasten eingeführt und durch eine neue Revision des Lastgutachtens [12] bestätigt. Zudem wurden in [11] die neuen Lasten mit denen aus [9] und [10] verglichen und gezeigt, dass die Nachweise in [1] gültig bleiben.

In [9] und [10] sind für die Ermüdungsnachweise an den Turmschnitten mehrere Markov-Matrizen zur Erfassung der Lebensdauer- und Nabhöhenvarianten bzw. Systemsteifigkeiten gegeben. In [1] wurden die Ermüdungsnachweise mit den maßgebenden Markov-Matrizen geführt. In [2] wurden die Ermüdungsnachweise einhüllend für das maßgebende Schädigungsäquivalent geführt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [9] 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.

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 im Einflussbereich des Turmkopfflansches und des Radius des Turmkopfflansches gemäß Zeichnung [24] wurde in [3] anhand von Spannungskonzentrationsfaktoren aus [22] durchgeführt. Zusätzlich wurde in [3] ein Lastvergleich der einwirkenden statischen Lasten [9] und [10] mit den ursprünglich zur Zertifizierung verwendeten Lasten in [22] mittels Restsicherheitsbetrachtungen durchgeführt. Dokument [22] und [24] wurde mit [23] bestätigt. Der Nachweis der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) ist nicht Bestandteil dieser Prüfung und ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

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 [20] durchgeführt und mit [21] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [20] für den vorliegenden Turm gültig sind.

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



Industrie Service

### Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [12] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,181 Hz bis 0,203 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\phi,dyn} = 95 \text{ GNm/rad}$  betragen.

### Imperfektionen:

Die Lasten aus [9] und [10] 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  $k_{\phi,stat} = 40 \text{ GNm/rad}$  wurden in [1] berücksichtigt.

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

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

### Bauzustände, Querschwingungen:

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

	Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer
1	Nicht vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	12 Monate
2	Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	6 Monate
3	Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	2 Monate
4	Vorgespannter Betonturm mit 1. und 2. Stahlsektionen	2 Monate
5	Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	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 Wandelemente zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 45 Tagen und des Adapters mit 87 Tagen angesetzt.

Der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd,fat}$  wurde abweichend von /1/ und auch abweichend von der abZ [18] mit einem Versprödungsfaktor von 1,0 angesetzt. Dieser Rechenwert ist durch eine Aktualisierung der abZ [18] zu bestätigen, andernfalls sind neue Nachweise zur Ermüdung vorzulegen.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{Rsk}$  für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [19] angesetzt.



Industrie Service

## 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 [25] angesetzt. Dokument [25] wurde mit [26] 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:

Mit Revision 1 wurde ein neues Lastdokument [11] mit neuen Lasten eingeführt und durch eine neue Version des Lastgutachtens [12] bestätigt. In [11] wurden außerdem die neuen Lasten mit denen aus [9] und [10] verglichen und gezeigt, dass die Nachweise in [1] gültig bleiben.

Die Verwendung von jeweils 6 Schubdübeln zur Übertragung von Schubkräften in den horizontalen Fugen wurde auf die Fugen zwischen den Segmenten C02 bis C21 reduziert.

Die Stahlsektionen wurden in [2] erneut auf Ermüdung nachgewiesen unter Ansatz reduzierter Kerbfallklassen gemäß [A8] und unter Ansatz des Strukturspannungskonzepts gemäß [25].

## 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] und [11] 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] und [11] 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 [9] und [11] 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 [16] und [17] sowie für die Hochfestbetone [18] und geschweißten Bewehrungselemente [19] 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. Die gewählten Ansätze für die Ermüdungsfestigkeit des Betons sind mit einer aktualisierten abZ [18] zu bestätigen. Die aktualisierte abZ [18] ist unaufgefordert vorzulegen und muss vor Inbetriebnahme des ersten Turms der hier genannten Anlage vorliegen.
18. 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.
19. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [5] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
20. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [6] heranzuziehen.
21. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung müssen alle Fertigteilesegmente des Betonturms mindestens 45 Tage und der Adapter mindestens 87 Tage alt sein

### Prüfintervalle

22. 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.
23. 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

B. Peng

Der Leiter

i.V. S. Mayer

## Anhang 1 zu 3108363-14-d Rev.1: Verzeichnis geprüfter Pläne

### Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-T20-001-XX-X-Uebersicht	c	Uebersichtsplan Gesamtturm NH=169m, V162, Spannglieds. „SUSPA“	2020-12-10
[A2]	DE-T20-096-XX-X-Bewehrung	c	Bewehrung Rohteile C-Ringe (3-teilig)	2020-12-10
[A3]	DE-T20-AE1-HV-1-Schalplan	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T017772	2020-07-30
[A4]	DE-T20-AE1-HV-2-Schalplan	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0177773	2020-07-16
[A5]	DE-T20-AE1-K1-X-Bewehrung	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2020-03-30
[A6]	DE-T20-AE1-K1-X-Schalplan	a	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2020-01-23
[A7]	DE-T20-095-XX-X-Schalplan	c	Schalplan Rohteile C-Ringe	2020-12-10

### Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A8]	DE-T20-022-XX-X-Uebersicht	d	Übersichtsplan Stahlturm 169m NH	2020-12-17