

Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage GE 5.5-158, Rotorblatt LM77.4P,
Nabenhöhe 161 m, DIBt Windzone S, Geländekategorie S**

- Hybridturm G20 -

Prüfbericht Nr.:	T-7009/18-1 Rev. 9	
Gegenstand der Prüfung:	Standsicherheit des Hybridturms G20 für die oben genannte Windenergieanlage als Be- tonfertigteilturm mit Stahlsektionen gemäß DIBt Richtlinie Fassung März 2015	
Anlagenhersteller:	GE Wind Energy GmbH Holsterfeld 16 48499 Salzbergen Deutschland	
Dokumentation:	GE Wind Energy GmbH Holsterfeld 16 48499 Salzbergen Deutschland	grbv wind GmbH Expo Plaza 10 30539 Hannover Deutschland
	Max Bögl Wind AG Postfach 11 20 92301 Neumarkt Deutschland	

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 29 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	29.03.2018	Erstausgabe
1	13.04.2018	- Redaktionelle Änderungen: - Abschnitt 4.2, Hinweis auf maximale Lebensdauer - Auflage 6.14, Verfahrensprüfung des Schraubenherstellers
2	25.06.2018	Neue Rev. der gutachtliche Stellungnahme Lastannahmen [1.3.2]
3	03.09.2018	- Aufnahme der Anlagenkonfiguration Nr. 2, hierzu: - Lastvergleich [1.2.6] ergänzt - Gutachtliche Stellungnahme zu den neuen Auslegungslasten [1.3.25] ergänzt - Neue Rev. der gutachtlichen Stellungnahme zur Spanngliedverankerung [1.3.17] - Aktuelle Fassung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [1.3.21]
4	29.03.2019	- Aufnahme der Anlagenkonfiguration Nr. 3 sowie konstruktive Überarbeitungen, hierzu: - Lastvergleiche / Berechnungen [1.2.7] und [1.2.8] ergänzt - Neue Rev. der Anlagen Nr. 2, 4, 5, 6 und 8 - Bewehrungsplan (<i>mit Rev. 7 entfallen</i>) und Fundamentlastspezifikation Anlage Nr. 14 eingefügt (hierdurch ändert sich die Nummerierung der nachfolgenden Anlagen) - Neue Rev. der Anlagen Nr. 9, 10 und 14 - Neue Auslegungslasten [1.3.3] ergänzt (geprüft in [1.3.4]) - Anpassung der Schnittstellen 5.4.7 und 5.4.18 - Auflagen Nr. 6.4, 6.9 und 6.12 ergänzt - die in der Rev. 3 dieses Prüfberichts enthaltene Auflage Nr. 6.10 kann entfallen - Aktuelle Fassung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für hochfesten Beton [1.3.20]
5	08.07.2019	- Optimierung der Turm- und Adapterbewehrung, Änderung Geometrie vertikale Fuge: - Anlage Nr. 5, Anlage Nr. 7, Anlage Nr. 8, Anlage Nr. 9 und Anlage Nr. 10 revidiert - Anlage Nr. 11 durch Anlage Nr. 11 und Anlage Nr. 12 ersetzt (hierdurch ändert sich die Nummerierung der nachfolgenden Anlagen) - Anlage Nr. 14 revidiert - Anlage Nr. 16 und Anlage Nr. 17 ausgetauscht - Neue Betonturmstatik [1.2.9] hinzugefügt - [1.3.12] revidiert - [1.3.13] und [1.3.14] hinzugefügt - Anlage Nr. 4 um Grüneintrag alternative Stahlgüte MF4 S355NL ergänzt (Revisionsstand unverändert) [1.2.7] revidiert. Alternatives Material MF4 S355NL nachgewiesen und im Kapitel 4.3 Baustoffe ergänzt) - Änderung Spanngliedverankerung im Fundament (4 Ankerstangen), zugehörige Dokumente [1.3.17], [1.3.18] und [1.3.19] hinzugefügt - Aktualisierung Zulassung [1.3.22] für SUSPA Draht-EX - Ergänzung Zulassung [1.3.23] für B500B. Damit entfällt die in der Rev. 4 dieses Prüfberichts enthaltene Auflage Nr. 6.12

6	16.10.2019	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung der Windbedingungen: - Aufnahme der Anlagenkonfiguration Nr. 4 - Neue Auslegungslasten [1.3.5] ergänzt (geprüft in [1.3.6])
7	18.10.2019	<ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme der Anlagenkonfiguration Nr. 5 sowie konstruktive Überarbeitungen, hierzu: - Lastvergleiche / Berechnungen [1.2.10] und [1.2.11] ergänzt - Neue Rev. der Anlage Nr. 5, Anlage Nr. 6, Anlage Nr. 8 bis Anlage Nr. 10 und Anlage Nr. 16. - Anlage Nr. 9 (alternativer Bewehrungsplan) aus Rev. 6 dieses Prüfberichts entfällt (hierdurch ändert sich die Nummerierung der nachfolgenden Anlagen) - Neue Fundamentlasten mit Anlage Nr. 15 ergänzt - Neue Auslegungslasten [1.3.7] ergänzt (geprüft in [1.3.8]) - Neue Rev. der gutachtlichen Stellungnahme [1.3.17]
8	29.11.2019	<ul style="list-style-type: none"> - Redaktionelle Anpassung der Auslegungslasten [1.3.7] (geprüft in neuer Revision von [1.3.8])
9	10.01.2020	<ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme der Anlagenkonfiguration Nr. 6 hierzu: - Lastvergleich [1.2.12] - Zugehörige Fundamentlasten Anlage Nr. 18 ergänzt - Zugehörige Auslegungslasten [1.3.9] ergänzt (geprüft in [1.3.10]) - Konstruktive Überarbeitungen am Betonadapter, hierzu - Berechnungen [1.2.13] ergänzt - Neue Revisionen der Anlage Nr. 5, Anlage Nr. 6, Anlage Nr. 9, Anlage Nr. 10 und Anlage Nr. 16. - Redaktionelle Anpassungen, Zusammenfassen von Auflagen - Dokumentverweise auf Turmkopfkomponenten des Maschinenbaus und zugehörige Bemerkung entfernt.

Hinweis:

Die Dokumentverweise vorheriger Revisionsstände könnten sich im Zuge der Revisionshistorie geändert haben und wären somit nicht mehr aktuell.

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	5
1.1	Geprüfte Anlagen	5
1.2	Geprüfte Berechnungen	7
1.3	Dazugehörige Dokumente	9
2	Prüfgrundlagen	12
3	Einleitung	14
3.1	Beschreibung von Änderungen	14
4	Beschreibung	17
4.1	Turm	17
4.2	Lastannahmen	19
4.3	Baustoffe	20
5	Prüfung	22
5.1	Umfang und Methodik	22
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	22
5.3	Ergebnisse	23
5.4	Schnittstellen	23
6	Auflagen	27
7	Zusammenfassung	29

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Anlagen

Zeichnungen erstellt von GE Renewable Energy

- Anlage Nr. 1 Zeichnung „STAHLSEKTIONEN FÜR HYBRIDTURM, ZUSAMMENBAUZEICHNUNG“, Dokument-Nr.: 446W7589, Rev. -, Datum: 09.02.2018
- Anlage Nr. 2 Zeichnung „TOP SEKTION“, Dokument-Nr.: 446W5574, Rev. A, Datum: 22.03.2018
- Anlage Nr. 3 Zeichnung „MITTLERE SEKTION A“, Dokument-Nr.: 446W5575, Rev. -, Datum: 25.01.2018
- Anlage Nr. 4 Zeichnung „MITTLERE SEKTION B“, Dokument-Nr.: 446W6420, Rev. A, Datum: 07.03.2019

Zeichnungen erstellt von Max Bögl Wind AG

- Anlage Nr. 5 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Uebersichtsplan Gesamtturm NH=161.0m, Spannglieds. „SUSPA“, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 001 XX X Uebersicht, Index h, Datum: 05.12.2019
- Anlage Nr. 6 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Uebersichtsplan Gesamtturm NH=161.0m, Spannglieds. „SUSPA“, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 101 XX X Uebersicht, Index d, Datum: 06.12.2019
- Anlage Nr. 7 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Schalplan Roh-teile C-Ringe, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 095 XX X Schalplan, Index b, Datum: 04.07.2019
- Anlage Nr. 8 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Bewehrung Roh-teile C-Ringe (3-teilig), Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 096 XX X Bewehrung, Index g, Datum: 05.09.2019
- Anlage Nr. 9 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Schalplan Uebergangsstueck AE1 (Suspa), Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 AE1 K1 X Schalplan, Index g, Datum: 05.12.2019
- Anlage Nr. 10 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA), Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 AE1 K1 X Bewehrung, Index g, Datum: 06.12.2019

- Anlage Nr. 11 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0150831, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 AE1 HV 1 Schalplan, Index -, Datum: 10.05.2019
- Anlage Nr. 12 Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T015083, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 AE1 HV 2 Schalplan, Index -, Datum: 10.05.2019

Spezifikationen erstellt von grbv wind GmbH

- Anlage Nr. 13 Fundamentlasten „BAUWERK GE Windenergieanlage Rotordurchmesser 158 m NH 161 m - Hybridturm G20, BAUTEIL: Überprüfung Turmstatik für neue Lasten infolge Lastiteration, BLOCK: 2 Einwirkungen, VORGANG: 2.2 Eingangswerte für die Fundamentbemessung“, Seite 12 - 13, Rev. 01, Datum: 28.03.2018
- Anlage Nr. 14 Fundamentlasten „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-2, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Optimierung des G20-Spannbetonfertigteilschaftes inklusive Adapter mit externer Vorspannung, Einwirkungen, 4.9 Eingangswerte für die Fundamentbemessung“, Seite 210 - 212, Rev. 02, Datum: 04.07.2019
- Anlage Nr. 15 Fundamentlasten „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-2, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Überprüfung des typengeprüften Spannbetonfertigteilschaftes inklusive Adapter sowie der zugehörigen Flachgründung Ø25,00 m für neue Lasten, 5.9 Eingangswerte für die Fundamentbemessung“, Seite 149 - 151, Rev. 01, Datum: 23.09.2019
- Anlage Nr. 16 Spannanweisung Ankerstäbe „Spannanweisung, Projektnummer: 50180-123-3, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Spannanweisung der Ankerstangen im Adapter“, Seite 1 – 19 zzgl. Deckblatt, Rev. 3, Datum: 09.12.2019
- Anlage Nr. 17 Spannanweisung Spannglieder „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-2, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Spannanweisungen der Spannglieder“, Seite 1 - 12 zzgl. Deckblatt, Rev. 1, Datum: 04.07.2019

Anlage Nr. 18 Fundamentlasten „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-3, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Überprüfung des typengeprüften Spannbetonfertigteilschaftes inklusive Adapter sowie der zugehörigen Flachgründung Ø25,00 m für neue Lasten“, Seiten 80 - 82, Rev. 01, Datum: 10.01.2020

1.2 Geprüfte Berechnungen

[1.2.1] GE Renewable Energy:

„GE 5.33-158 - 50Hz, Stahlrohrturm für 161m NH Hybrid Turm, LM 77,4Blatt, DIBt Windzone S, Zertifizierungsdokument für die Stahlrohr-Sektionen des Hybrid Turmes 161m NH, Modulares Turm System (MTS) Design“, Dokument-Nr.: 5.33_158_50Hz_CD_tower_161mNH_DIBtS_GExxx.00.docx, Rev. 0, Datum: 16.02.2018

[1.2.2] GE Renewable Energy:

„GE 4.83-158-121mHH 50Hz LM77.4, GE 5.33-158-161mHH 50Hz LM77.4, Standard Weather (SW), Certification Document, 121mHH/161mHH Steel Tower Top flange“, Dokument-Nr.: GE_4.83-158-121mHH&GE_5.33-158-161mHH_xxHz_TTF_REV-00.doc, Rev. 0, Datum: 08.02.2018

[1.2.3] GE Renewable Energy:

Strukturspannung für die in [1.3.15] spezifizierten Anschweißbuchsen „Certification document for evaluation of welded attachments following the geometric (hot spot) stress method according to EN 1993-1-9 and the IIW recommendations.“, Dokument-Nr.: x.x_xxx_xxHz_CD_welded_attachments_evaluation.ENxxx.00.doc, Rev. 0, Datum: 06.12.2016

[1.2.4] grbv wind GmbH:

„Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Statische Bemessung des Spannbetonfertigteilschaftes mit externer Vorspannung“, Seite 1 - 9 zzgl. Deckblatt, Rev. 02, Datum: 28.03.2018
mit nachfolgend aufgeführten, zusätzlichen Blöcken:

Block V.A „Adapter“, Seite A1 – A83, Datum: 28.03.2018

Block V.B „Spannbetonfertigteilschaft“, Seite B1 - B125, Datum: 28.03.2018

Block V.C „Bauzustände“, Seite C1 – C82, Datum: 28.03.2018

[1.2.5] grbv wind GmbH:

„Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Überprüfung der Turmstatik für neue Lasten infolge Lastiteration“, Seite 1 – 49 zzgl. Deckblatt, Rev. 01, Datum: 28.03.2018

- [1.2.6] GE Renewable Energy:
„Nachtrag, GE 5.3-158-50Hz, Betonhybridturm 161m NH, LM 77.4 Blatt, DIBt Windzone 2, Lastenvergleichsdokument für einen Betonhybridturm mit 161m NH inkl. Fundament“, Dokument-Nr.: Nachtrag_5.3_158_50Hz_CD_tower_161mNH_LM77.4_DIBt2_446W7589_G20_GExxx.01.docx, Rev. 01, Datum: 03.09.2018
- [1.2.7] GE Renewable Energy:
Berechnung Stahlteil „Nachtrag GE 5.33-158-50Hz, Betonhybridturm 161m NH, LM 77.4 Blatt, DIBt Windzone S, Lastenvergleichsdokument für einen Betonhybridturm mit 161m NH inkl. Fundament“, Dokument-Nr.: Nachtrag_5.33_158_50Hz_CD_tower_161mNH_LM774_DIBt_PRD0039_GExxx.02.docx, Rev. 02, Datum: 27.06.2019
- [1.2.8] grbv wind GmbH:
Berechnung Betonteil „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-1, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Überprüfung der typengeprüften Flachgründungen Ø27,00 m und Ø23,50 m sowie des Spannbetonfertigteilschaftes inklusive Adapter für neue Lasten sowie neuer Adaptergeometrie“, Rev. 01, Datum: 19.03.2019
- [1.2.9] grbv wind GmbH:
„Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Optimierung des G20-Spannbetonfertigteilschaftes inklusive Adapter mit externer Vorspannung“, Seite 1 - 230 zzgl. Deckblatt, Rev. 02, Datum: 04.07.2019
- [1.2.10] GE Renewable Energy:
Berechnung Stahlteil: „Nachtrag GE 5.33-158-50Hz, Betonhybridturm 161m NH, LM 77.4 Blatt, DIBt Windzone S, Lastenvergleichsdokument für einen Betonhybridturm mit 161m NH inkl. Fundament PRD076“, Dokument-Nr.: Nachtrag_5.33_158_50Hz_CD_tower_161mNH_LM774_DIBt_PRD076_GExxx.00, Rev. 00, Datum: 07.08.2019
- [1.2.11] grbv wind GmbH:
Berechnung Betonteil: „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-2, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Überprüfung des typengeprüften Spannbetonfertigteilschaftes inklusive Adapter sowie der zugehörigen Flachgründung Ø25,00 m für neue Lasten“, Seiten 1 bis 151, 234 zzgl. Deckblatt, Rev. 01, Datum: 23.09.2019

[1.2.12] GE Wind Energy GmbH:

Berechnung Stahlteil: „Nachtrag, GE 5.33-158-50Hz, Betonhybridturm 161 m NH, LM 77.4 Blatt, DIBT Windzone S, Lastenvergleichsdokument für einen Betonhybridturm mit 161m NH inkl. Fundament, PRD046“, Dokument ID: Nachtrag_5.33_158_50Hz_CD_tower_161mNH_LM774_DIBt_PRD046_GExxx.00, Rev. 0, Datum: 24.10.2019

[1.2.13] grbv wind GmbH:

Berechnung Betonteil: „Statische Berechnung, Projektnummer: 50180-123-3, Bauvorhaben: GE Windenergieanlage, Rotordurchmesser 158 m, NH 161 m, Hybridturm G20, Thema: Überprüfung des typengeprüften Spannbetonfertigteils inklusive Adapter sowie der zugehörigen Flachgründung Ø25,00 m für neue Lasten“, Seiten 1 bis 82, 106 zzgl. Deckblatt, Rev. 01, Datum: 10.01.2020

1.3 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen (25 Jahre Lebensdauer)

[1.3.1] GE Wind Energy GmbH:

„Certification Loading Document, GE Renewable Energy 5.3-158, 5.33 MW Rated Power / 158 m Rotor Diameter, Grid Frequency 50 Hz with LM77.4 Blade (VGs + LNTEs + T-Spoilers) / 161 m Hub Height Concrete hybrid, DIBt Wind Zone S-Class“, Dokument-Nr.:
4601_5.33_158_161HH_CHT_DIBtS_STW_50Hz_LOA_all-
Comp_LM774_EN_LMr5.02.Enxx.doc, Rev. 2, Datum: 26.03.2018

[1.3.2] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:

„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage GE5.3-158, RB LM77.4P, NH 161 m (Beton-Hybridturm), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115 542 742-1 DII, Rev. 1, Datum: 24.05.2018

[1.3.3] GE Wind Energy GmbH:

„Certification Loading Document, GE Renewable Energy 5.30-158, 5.33 MW Rated Power / 158 m Rotor Diameter, Grid Frequency 50 Hz with LM77.4 Blade (VGs + LNTEs + T-Spoilers) / 161 m Hub Height concrete hybrid, 665 kN thrust, DIBt Wind Zone S-Class“, Dokument-Nr.: 4617_5.33-158_161HH_CHT_DIBTS_ED3_50Hz_LOA_allComp_LM77.4.00.Enxx, Rev. 0, Datum: 01.02.2019

[1.3.4] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage GE5.3-158 (665 kN Thrust), RB LM77.4P (VGs + LNTEs + T-Spoiler), NH 161 m (Beton-Hybrid-Turm (G20)), 50 Hz, DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 625 470-1 D III, Rev.0, Datum: 29.03.2019

- [1.3.5] GE Wind Energy GmbH:
„Mechanical Load Analysis, Addendum, DIBt WZ S, GK S, 4.8-158 / 150m HH / 665 kN / 50Hz, 4.8-158 / 161m HH / 665 kN / 50Hz“,
Dokument-Nr.: 4.8-158_161mHH-150mHH_665kN_WZ-S_GK-S_50Hz_Rev0,
Rev. 0 vom 14.10.2019
- [1.3.6] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage, GE4.8-158 (665 kN Thrust),
RB LM77.4P (VGs + LNTEs + T-Spoiler), NH 161 m (Stahl-Beton-Hybridturm
G20), 50 Hz, DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117438567-1 D I Rev.0, Datum: 15.10.2019
- [1.3.7] GE Wind Energy GmbH:
„Certification Loading Document, GE Renewable Energy 5.30-158, 5.33 MW
Rated Power / 158 m Rotor Diameter, Grid Frequency 50 Hz with LM77.4 Blade
(VGs + LNTEs + T-Spoilers) / 161 m Hub Height concrete hybrid, 665 kN thrust,
DIBt Wind Zone S-Class“, Dokument-Nr.:
4636_5.33-158_161HH_DIBTS_ED3_50Hz_LOA_allComp_LM77.4.01.Enxx,
Rev. 1, Datum: 05.11.2019
- [1.3.8] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage GE 5.3-158, RB LM77.4P
(VGs + LNTEs + T-Spoiler), NH 161 m (Beton-Hybrid-Turm (G20)), DIBt WZ S,
GK S, - Lastannahmen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117340236-1 D I, Rev.1, Datum: 22.11.2019
- [1.3.9] GE Wind Energy GmbH:
„Certification Loading Document, GE Renewable Energy 5.5-158, 5.5 MW Ra-
ted Power / 158 m Rotor Diameter, Grid Frequency 50 Hz with LM77.4 Blade
(VGs + LNTEs + T-Spoilers) / 161 m Hub Height CHT, DIBt Wind Zone S-
Class“, Dokument-Nr.: 4649_5.53-158_161HH_CHT_DIBTS_ED3_50Hz_
LOA_allComp_LM77.4.01.Enxx, Rev. 1, Datum: 11.12.2019
- [1.3.10] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage GE 5.5-158, RB LM77.4P
(VGs + LNTEs + T-Spoilers), NH 161 m (Beton-Hybrid-Turm - G20), DIBt WZ S,
GK S, - Lastannahmen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117645132-1 D I, Rev.0, Datum: 12.12.2019

Spezifikationen

- [1.3.11] GE Energy:
„Structural Fabrication of Wind Towers“, Dokument-Nr.: P14A-WE-0223,
Rev. B, Datum: 24.05.2018

[1.3.12] Max Bögl Wind AG:

Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Fugendetailplan, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: DE G20 M008 Montageplan, Index c, Datum: 04.07.2019

[1.3.13] Max Bögl Wind AG:

Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Fugendetailplan RT 2.0 mit Abdichtung, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: M514_c, Index c, Datum: 07.05.2019

[1.3.14] Max Bögl Wind AG:

Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Umlaufendes Konsolband in den Ringen C12 und C25, Projekt Nr.: 21683“, Dokument-Nr.: M515, Index 0, Datum: 04.07.2019

Anschweißbuchsen

[1.3.15] GE Power & Water:

„GE Power & Water Wind Part Specification, Component Name BUSHING, THREADED“, Dokument-Nr.: 109W4312, Rev. B, Datum: 01.12.2015

Beschreibung des Vorspannverfahrens für Ringflanschverschraubungen

[1.3.16] GE Renewable Energy:

„Certification document, Combined method for installation of tower flange bolts M36 and larger“, Dokument-Nr.: x.x_xxx_xxHz_CD_Combined method for installation of tower flange bolts M36 and larger. ENxxx.01.docx, Rev. 01, Datum: 21.03.2018

Spanngliedverankerung

[1.3.17] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme, Hybridtürme für Windenergieanlagen, - Bauteile für Spanngliedverankerung -“, TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 986 268-6 D Rev. 1, Datum: 16.09.2019

[1.3.18] Max Bögl Wind AG:

„Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Projektnummer: 21683, Nabenhöhe: Bis 200 m, Bauteil: Spanngliedverankerung“, Rev. b, Datum: 27.06.2019

[1.3.19] Max Bögl Wind AG:

Zeichnung „Bauvorhaben: Windkraftanlage, Bauteile: Spanngliedverankerung im Fundament RT2.0 (mit 4 Ankerstangen)“, Dokument-Nr.: M532_b, Index b, Datum: 26.06.2019

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen

[1.3.20] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:

„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-3.51-2036; Gegenstand dieses Bescheides: Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, gültig vom 15.02.2019 bis 15.02.2024

[1.3.21] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:

„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-139; Gegenstand dieses Bescheides: Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, gültig vom 16.04.2018 bis 16.04.2021

[1.3.22] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:

„Allgemeine Bauartgenehmigung; Zulassungsnummer: Z-13.3-141; Gegenstand dieses Bescheides: SUSPA-Draht EX für Windenergieanlagen“, gültig vom 15.04.2019 bis 16.04.2021

[1.3.23] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:

„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Allgemeine Bauartgenehmigung; Zulassungsnummer: Z-1.3-284; Gegenstand dieses Bescheides: Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm“, gültig vom 01.06.2019 bis 01.06.2024

Lastannahmen (20 Jahre Lebensdauer)

[1.3.24] GE Renewable Energy:

„Nachtrag, GE 5.3-158-50Hz, Betonhybridturm 161m NH, LM 77.4 Blatt, DIBt Windzone 2, Lastenvergleichsdokument für einen Betonhybridturm mit 161m NH inkl. Fundament“, Dokument-Nr.: Nachtrag_5.3_158_50Hz_CD_tower_161mNH_LM77.4_DIBt2_446W7589_G20_GExxx.01.docx, Rev. 01, Datum: 03.09.2018

[1.3.25] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage GE 5.3-158, RB LM77.4P, NH 161 m (Beton-Hybridturm), DIBt WZ S, GK S, NPI Lasten, - Lastannahmen -“, TÜV NORD Bericht Nr.: 8115542742-1 DIII Rev.0, Datum: 03.09.2018

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Korrigierte Fassung 03.2015):
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“

- [2.2] DIN EN 61400-1 (08.2011):
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1991-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1991-1-1/NA (12.2010):
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1991-1-4 (12.2010) mit DIN EN 1991-1-4/NA (12.2010):
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten“
- [2.5] DIN EN 1992-1-1 (01.2011) mit DIN EN 1992-1-1/NA (04.2013):
„Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.6] DIN EN 1993-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-1/NA (09.2017):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.7] DIN EN 1993-1-6 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-6/NA (12.2010):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen“
- [2.8] DIN EN 1993-1-8 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-8/NA (12.2010):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“
- [2.9] DIN EN 1993-1-9 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-9/NA (12.2010):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung“
- [2.10] DIN EN 1993-1-10 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-10/NA (04.2016):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung“
- [2.11] DIN EN 1998-1 (12.2010) mit DIN EN 1998-1/NA (01.2011):
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.12] DIN EN 1998-6 (03.2006):
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine“
- [2.13] DAfStb Heft 439 (1994):
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“

[2.14] DAfStb Heft 600 (2010):
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“

[2.15] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen“

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung des Hybridturms G20, welcher nach der DIBt Richtlinie Fassung März 2015 ausgelegt wurde.

3.1 Beschreibung von Änderungen

Mit der Revision 3 des Berichts wird die Anlagenkonfiguration GE 5.3-158 NPI in die Typenprüfung eingebunden (Konfiguration Nr. 2). Diese Anlagenkonfiguration unterscheidet sich von der ersten Konfiguration durch eine von 25 auf 20 Jahre reduzierte Lebensdauer und durch erhöhte Turbulenzintensitäten (TI). Durch die geänderten Umgebungsbedingungen wurde eine Neuberechnung der Extrem- und Ermüdungslasten erforderlich, welche in dem hierzu eingereichten Lastvergleich [1.2.6] den ursprünglichen Auslegungslasten [1.3.1] gegenübergestellt wurden. Die neu berechneten Lasten sind in dem Dokument [1.2.6] (entspricht [1.3.24]) enthalten und werden in [1.3.25] bestätigt. Die Prüfung des Lastvergleiches ergab, dass die neue Anlagenkonfiguration GE 5.3-158 NPI aufgenommen werden kann, ohne dass hierzu konstruktive Änderungen am Turm nötig wären. Die Eingangswerte für die Fundamentbemessung (Anlage Nr. 13) können weiterhin verwendet werden. Des Weiteren wird mit dieser Revision auf die aktuelle Revision der gutachtlichen Stellungnahme zur Spanngliedverankerung [1.3.17] und auf die aktuelle Fassung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bzw. der allgemeinen Bauartgenehmigung für das Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX [1.3.21] verwiesen.

Mit der Revision 4 des Prüfberichts werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Berücksichtigung der neuen Anlagenkonfiguration Nr. 3 (siehe Tabelle 4.1 und 4.2).
- Die neuen Auslegungslasten hierzu ([1.3.3]) wurden in [1.3.4] bestätigt.
- Änderungen an der obersten Stahlsektion (Position der Längsnähte, siehe Anlage Nr. 2).
- Änderungen am Fußflansch des Stahlteils MF4 (geringfügige Geometrieänderung, neuer Werkstoff S420NL, siehe Anlage Nr. 4).
- Änderungen am Betonfertigteileadapter AE1 (Außenform nun zylindrisch statt konisch, überarbeitete Bewehrungsführung und Ankerringplatte, siehe Anlagen Nr. 5, 6, 9 und 10).
- Fundamentlasten für die neue Konfiguration ergänzt (siehe Anlage Nr. 14).
- Spannanweisung zu den Ankerstangen überarbeitet (geringere Vorspannkraft, siehe Anlage Nr. 16).
- Änderungen bei den Betonfertigteilen C01 bis C28 (überarbeitete Bewehrung, siehe Anlagen Nr. 8).

- Entfall des Model Codes 2010 beim Ermüdungsnachweis der Betonfertigteile; die Ermüdungsnachweise wurden nun gemäß Model Code 1990 bzw. DAfStb Heft 439 ([2.13]) geführt; die in der Rev. 3 dieses Prüfberichtes enthaltene Auflage Nr. 6.10 kann somit entfallen.
- Die neuen Auslegungslasten [1.3.3] und die o.g. Änderungen an den Bauteilen wurden in den hierzu eingereichten Lastvergleichen und Berechnungen [1.2.7] und [1.2.7] nachgewiesen.
- Durch die zuvor genannten Änderungen wurde die Anpassung der Schnittstellen Nr. 5.4.7 und 5.4.18 sowie die Ergänzung der Auflagen Nr. 6.4 und 6:12 nötig. Darüber hinaus wurde die Auflage Nr. 6.9 ergänzt.
- Aktuelle Fassung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für hochfesten Beton [1.3.20] aufgenommen.

Mit der Revision 5 des Prüfberichtes werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Implementierung der Konstruktion der vertikalen Fuge sowie Optimierungen in der Bewehrungsführung (Anpassung der Anlagen Nr. 5 bis Anlage Nr. 17). Im Speziellen werden die Betonhöcker in Richtung Mittelpunkt der vertikalen Fuge verschoben (siehe [1.3.12]). Die Schrauben in der vertikalen Fuge werden für die ULS Nachweise mit angesetzt. Dies wird durch ein Spaltmaß gewährleistet (siehe [1.3.12]).
- Die Bewehrungsmenge in den Betonsegmenten und dem Adapter wurde optimiert (siehe Anlage Nr. 8 und Anlage Nr. 10).
- Die Ausführung der Abstandhalter für die Spannglieder wurde überarbeitet (siehe [1.3.14]).
- Änderungen am Fußflansch des Stahlteils MF4 (neuer Werkstoff S355NL, siehe Anlage Nr. 4
- Aufgrund einer neuen Spanngliedverankerung (Rechteckige Platte mit 4 Ankerstangen M56-10.9) wird die gutachtliche Stellungnahme [1.3.17] ersetzt und die dazugehörigen Unterlagen [1.3.18] und [1.3.19] aufgenommen.
- Aktualisierung der Allgemeinen Bauartgenehmigung [1.3.22] für das Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX
- Aufnahme der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-1.3-284 für geschweißte Bewehrungselemente der Fa. Max Bögl aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung. Hierdurch entfällt die Auflage 6.12 im Prüfbescheid zur Typenprüfung, Rev. 4.

Mit der Revision 6 des Prüfberichtes werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Die Typenprüfung für den Hybridturm wird um die Anlagenkonfiguration Nr. 4 (siehe Tabelle 4.1 und 4.2) für eine neu definierte Windklasse S erweitert.

- Durch die geänderten Umgebungsbedingungen wurde eine Neuberechnung der Extrem- und Ermüdungslasten erforderlich. Die neu berechneten Extrem- und Betriebslasten sind in dem Dokument [1.3.5] angegeben (geprüft mit gutachtlicher Stellungnahme [1.3.6]) und werden darin den bereits geprüften Referenzlasten [1.3.3] der Typenprüfung gegenübergestellt. Die Prüfung des Lastvergleiches [1.3.5] ergab, dass die neue Anlagenkonfiguration GE 4.8-158 aufgenommen werden kann, ohne dass hierzu konstruktive Änderungen am Turm nötig wären. Die Eingangswerte für die Fundamentbemessung (Anlage Nr. 14) erhöhen sich nicht.
- Die zuvor genannten Änderungen haben keine statisch relevanten Auswirkungen auf die Standsicherheit des Hybridturms.

Mit der Revision 7 des Prüfberichts werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Berücksichtigung der neuen Anlagenkonfiguration Nr. 5 (siehe Tabelle 4.1 und 4.2).
- Die neuen Auslegungslasten hierzu [1.3.7] wurden in [1.3.8] bestätigt
- Fundamentlasten für die neue Konfiguration ergänzt (siehe Anlage Nr. 15).
- Änderungen am Betonfertigteiladapter AE1 (breitere Ankerringplatte, korrigierter Hüllrohrinnendurchmesser, Übernahme des Grüneintrags zur Spaltzugbewehrung, siehe Anlage Nr. 9 und Anlage Nr. 10).
- Spannanweisung zu den Ankerstangen überarbeitet (höhere Vorspannkraft, siehe Anlage Nr. 16).
- Änderungen an den Betonfertigteilen (Lokale Erhöhungen der Betongüte und der Bewehrung, siehe Anlage Nr. 5, Anlage Nr. 6 und Anlage Nr. 8).
- Die neuen Auslegungslasten [1.3.7] und die o.g. Änderungen an den Bauteilen wurden in den hierzu eingereichten Lastvergleichen und Berechnungen [1.2.10] und [1.2.11] nachgewiesen.
- Durch die zuvor genannten Änderungen wurde die Anpassung der Schnittstellen Nr. 5.4.7 und 5.4.18 sowie die Ergänzung der Auflage Nr. 6.6 nötig.

Mit der Revision 8 des Prüfberichts werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- In den revidierten Auslegungslasten [1.3.7] wurden die windgeschwindigkeitsabhängigen Turbulenzintensitäten korrigiert. Hieraus resultieren keine bemessungsrelevanten Veränderungen gegenüber den Lastannahmen [1.3.7] Rev. 0. Die neuen Lasten [1.3.7] werden in der neuen Revision der gutachtlichen Stellungnahme [1.3.8] bestätigt.

Mit der Revision 9 des Prüfberichts werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Berücksichtigung der neuen Anlagenkonfiguration Nr. 6 (siehe Tabelle 4.1 und 4.2).
- Die neuen Auslegungslasten hierzu [1.3.9] wurden in [1.3.10] bestätigt

- Durch die Erhöhung der maximalen Nennleistung auf 5,5 MW wurde eine Neuberechnung der Extrem- und Ermüdungslasten erforderlich. Die Prüfung der Lastvergleiche [1.2.12] und [1.2.13] ergab in Bezug auf den Turm, dass die neue Anlagenkonfiguration 6 aufgenommen werden kann, ohne dass hierzu konstruktive Änderungen am Turm nötig wären.
- Nichtsdestotrotz wurden neben geringfügigen Änderungen bezüglich der abgebildeten Weichschicht im Fundament, des Lastverteilblechs und redaktionellen Änderungen folgende, standsicherheitsrelevante Anpassungen am Betonadapter vorgenommen:
 - o Die Ankerstangen werden mit einer temporären Teilvorspannung (80 % für 2-4 Monate) ausgeführt und die Soll-Vorspannung wurde auf 1275 kN erhöht, siehe revidierte Spannweisung, Anlage Nr. 16.
 - o Die Breite und Dicke der einbetonierten Ankerringplatte wurde entsprechend erhöht, siehe Anlage Nr. 5, Anlage Nr. 6 sowie Anlage Nr. 9.
- Die statisch relevanten Änderungen wurden in der Nachtragsstatik [1.2.13] nur für die Lasten der Anlagenkonfigurationen 5 und 6 gemäß Tabelle 4.1 und 4.2 nachgewiesen.

Die Verwendung der revidierten Zeichnungen und Spannweisung ist daher für die Anlagenkonfigurationen 1 bis 4 nicht zulässig (siehe auch [1.2.13], Seite 5). Dies betrifft die folgenden Revisionsstände:

 - o Anlage Nr. 5 ab Index h
 - o Anlage Nr. 6 ab Index d
 - o Anlage Nr. 9 ab Index g
 - o Anlage Nr. 10 ab Index g
 - o Anlage Nr. 16 ab Rev.3
- Durch die zuvor genannten Änderungen wurde die Anpassung der Schnittstellen Nr. 5.4.7, 5.4.14 und 5.4.22 nötig
- Die Auflagen 6.2 bis 6.5 wurden zu einer Auflage zusammengefasst.

4 Beschreibung

4.1 Turm

Der Turm hat eine Höhe von 157,76 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus einem vorgespannten Betonfertigteilturm und einem Stahlteil. Der Außendurchmesser des Betonturms beträgt am Turmfuß 8,45 m, der Kopfflansch des Stahlteils zur Aufnahme der Anlage hat einen Außendurchmesser von 3,68 m.

Der Betonturm hat einen Kreisringquerschnitt mit einem nach oben hin abnehmenden Durchmesser. Der Betonturm ist über die Höhe in mehrere Segmente unterteilt. Am oberen Ende befindet sich ein Betonadapter zur Verbindung mit dem Stahlteil.

Die Segmente bestehen aus werksmäßig hergestellten Stahlbetonfertigteilen. Der Betonadapter wird aus einem Stück hergestellt. Die übrigen Segmente werden aus jeweils 3 verschraubten Schalenelementen zusammengefügt.

Die einzelnen Fertigteile werden in trockener Fuge übereinandergestellt. Um eine hohe Fertigungstoleranz zu erreichen, werden die Segmente oben und unten plan geschliffen.

Der Betonturm ist auf einer Mörtelschicht auf dem Fundament gebettet und wird mit externen Spanngliedern ohne Verbund vorgespannt. Als Spannstelle dient eine Stahlkonstruktion auf einer Höhe von 1,88 m (UK Ankerplatte) über der Fundamentoberkante, bestehend aus einer Ankerplatte und vier Ankerstangen je Spannglied. Von hier aus wird die Vorspannkraft der externen Spannglieder über die Ankerstangen in das Fundament eingeleitet.

Im Betonadapter befinden sich vorgespannte, einbetonierte Ankerbolzen, mit denen der Fußflansch des Stahlteils verbunden ist. Die Oberkante des Betonadapters dient außerdem als Lager für die Festanker der Spannglieder.

Der Stahlteil besteht aus einer werksseitig geschweißten Stahlblechkonstruktion. Die Stahlsektionen werden mittels vorgespannter L-Ringflanschverbindungen auf der Baustelle zusammengeschaubt.

Weitere Details sind in den entsprechenden Zeichnungen zum Stahlteil (Anlagen Nr. 1 bis 4) und zum Betonturm (Anlagen Nr. 5 bis 12 sowie [1.3.12]) enthalten.

Die folgenden Anlagenkonfigurationen wurden bei der Turmprüfung berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Nennleistung („Rated power“)	Rotorblatt	Rotor-Ø	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Turmnachweise
1 ^a	GE 5.3-158	161 m	5,3 MW	LM77.4P	158 m	WZ S	GK S	[1.2.1] bis [1.2.5]
2 ^a	GE 5.3-158 NPI	161 m	5,3 MW	LM77.4P	158 m	WZ S	GK S	Lastvergleich [1.2.6]
3	GE 5.3-158	161 m	5,3 MW	LM77.4P	158 m	WZ S	GK S	[1.2.7] bis [1.2.9]
4	GE 4.8-158	161 m	4,8 MW	LM77.4P	158 m	WZ S	GK S	Lastvergleich [1.3.5]
5 ^b	GE 5.3-158	161 m	5,3 MW	LM77.4P	158 m	WZ S	GK S	[1.2.10] und [1.2.11]
6 ^b	GE 5.5-158	161 m	5,5 MW	LM77.4P	158 m	WZ S	GK S	[1.2.12] und [1.2.13]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfigurationen für Turmnachweise

- a) Vorserien
- b) Seriendesign

In [1.2.1] wurde die erste ungekoppelte Turmeigenfrequenz bei elastischer und bei starrer Fundamenteinspannung ermittelt:

$f_0 = 0,203$ Hz bei elastischer Einspannung ($k_{\phi, \text{dyn}} = 213\,000$ MNm/rad)
 $f_0 = 0,209$ Hz bei starrer Einspannung

4.2 Lastannahmen

Die Lastannahmen wurden mit einem gesamtdynamischen Modell der Anlage unter Berücksichtigung der Elastizität von Turm und Rotorblättern bestimmt. Dabei wurde am Turmfuß eine elastische Einspannung von $k_{\phi, \text{dyn}} = 213\,000$ MNm/rad angesetzt.

Die folgenden Lastannahmen liegen der Turmberechnung zugrunde:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Nennleistung („Rated power“)	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1 ^a	GE 5.5-158	161 m	5,3 MW	LM77.4P	WZ S	GK S	[1.3.1]	[1.3.2]
2 ^a	GE 5.3-158 NPI	161 m	5,3 MW	LM77.4P	WZ S	GK S	[1.3.24]	[1.3.25]
3	GE 5.3-158	161 m	5,3 MW	LM77.4P	WZ S	GK S	[1.3.3]	[1.3.4]
4	GE 4.8-158	161 m	4,8 MW	LM77.4P	WZ S	GK S	[1.3.5]	[1.3.6]
5 ^b	GE 5.3-158	161 m	5,3 MW	LM77.4P	WZ S	GK S	[1.3.7]	[1.3.8]
6 ^b	GE 5.5-158	161 m	5,5 MW	LM77.4P	WZ S	GK S	[1.3.9]	[1.3.10]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

- a) Vorserien
- b) Seriendesign

Konfigurationen Nr. 1 und 2:

Die Lastannahmen sind für eine gekoppelte Turmeigenfrequenz von 0,195 Hz (fore-aft) bzw. 0,197 Hz (side-side) mit einem zulässigen Intervall von $\pm 5\%$ gültig. Die ungekoppelte Eigenfrequenz bei starrer Einspannung wird in [1.3.2] mit 0,206 Hz angegeben.

Konfiguration Nr. 3:

Die Lastannahmen sind für eine gekoppelte Turmeigenfrequenz von 0,189 Hz (fore-aft) bzw. 0,191 Hz (side-side) mit einem zulässigen Intervall von $\pm 5\%$ gültig. Die ungekoppelte Eigenfrequenz bei starrer Einspannung wird in [1.3.4] mit 0,200 Hz angegeben.

Konfigurationen Nr. 4 bis 6:

Die Lastannahmen sind für eine gekoppelte Turmeigenfrequenz von 0,182 Hz (fore-aft) bzw. 0,182 Hz (side-side) mit einem zulässigen Intervall von $\pm 5\%$ gültig. Die ungekoppelte Eigenfrequenz bei starrer Einspannung wird in [1.3.6], [1.3.8] bzw. [1.3.10] mit 0,196 Hz angegeben.

Bei der Auslegung der Windenergieanlagen GE 4.8-158, GE 5.3-158 und GE 5.5-158 wurden spezielle Windbedingungen angesetzt, welche von der Windzoneneinteilung nach DIN EN 1991-1-4/NA abweichen und somit als Windlasten der Windzone S / Geländekategorie S bezeichnet werden.

Die statischen Berechnungen zum Betonturm (siehe [1.2.4]) wurden zunächst mit vorläufigen Auslegungslasten erstellt. Mit dem Lastvergleich [1.2.5] ist der Betonturm auch für die in [1.3.2] geprüften Auslegungslasten [1.3.1] nachgewiesen.

Konfigurationen Nr. 1, 3 bis 6:

Die Ermüdungslasten beziehen sich auf eine maximale Lebensdauer von 25 Jahren.

Konfiguration Nr. 2:

Die Ermüdungslasten beziehen sich auf eine maximale Lebensdauer von 20 Jahren.

4.3 Baustoffe

Verwendete Bauprodukte:

Stahlsektionen

Turmwand (Topsektion und Sektion A): Stahl DIN EN 10025-2-S355J2
Turmwand (Sektion B): Stahl DIN EN 10025-2-S355J0

Kopfflansch MF1: Stahl DIN EN 10025-2-S355 J2 + DIN EN 10164 – Z25
ReH = 265 N/mm²

Flansche MF2, MF3:
Nahtlos ringgewalzt: Stahl DIN EN 10025-2-S355 J2 + DIN EN 10164 - Z25
ReH = 295 N/mm² (100 < t ≤ 150 mm)

Flansch MF4:
Nahtlos ringgewalzt: Stahl DIN EN 10025-3-S420NL + DIN EN 10164 - Z25
ReH = 265 N/mm² (200 < t ≤ 250 mm)

Flansch MF4 (alternativ):
Nahtlos ringgewalzt: Stahl DIN EN 10025-3-S355NL + DIN EN 10164 - Z25
ReH = 265 N/mm² (200 < t ≤ 250 mm)

Die Kerbschlagarbeit für das Grundmaterial beträgt gemäß den Anlagen Nr. 2 bis 4:
Mindestens 54 J bei 0° C für Stahl DIN EN 10025-2-S355 J0,
mindestens 54 J bei -20° C für Stahl DIN EN 10025-2-S355 J2,
mindestens 54 J bei -50° C für Stahl DIN EN 10025-3-S355NL und
mindestens 54 J bei -50° C für Stahl DIN EN 10025-3-S420NL.

Schrauben: HV-Garnituren DIN EN 14399 / DAST-RiLi 021
Festigkeitsklasse 10.9 DIN EN ISO 898-1

Die Vorspannkraft der Ringflanschverschraubungen wurden in [1.3.16] nachgewiesen und betragen für Schrauben der Größe

M36	654 kN
M48	1178 kN
M56	1624 kN

Ankerkorb im Betonadapter

Ankerstäbe:	Festigkeitsklasse 10.9 Gewinde M56	DIN EN ISO 898-1 DIN EN 976-1 (Geometrie nach DAST-Richtlinie 021)
	Vorspannung, F_p	1208 kN (Konfiguration 1-3) 1220 kN (Konfiguration 4) 1275 kN (Konfiguration 5-6)
Muttern und Scheiben:	M56-10.9 nach Bezugsnormengruppe 4, DIN EN 1993-1-8 (mit Geometrie nach DAST-Richtlinie 021)	
Lastverteilblech:	Stahl DIN EN 10025-2-S355J2	
Mantelbleche:	Stahl DIN EN 10025-2-S355J2	
Keilplatte:	Stahl DIN EN 10025-2-S355J2	
Ringplatte:	Stahl DIN EN 10025-2-S355J2	

Betonfertigteilturm

Adapter AE1, Ringe C1-C10:	C100/115	DIN EN 206-1, DIN 1045-2, Zulassung Z-3.51-2036
Ringe C11-C28:	C80/95	DIN EN 206-1, DIN 1045-2, Zulassung Z-3.51-2036
für Expositionsklassen: Betonstabstahl:	XC4 (außen, oben und unten), XC3 (innen), XF1, WF B500B	DIN 488
Vergussmörtel: (am Turmfuß)	≥ C80/95	DIN EN 206-1 Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“ (2011-11) genügen. Expositionsklassen: XC4, XD1, XF1, WF
Spannverfahren:	SUSPA-Draht EX, Zulassung Z-13.3-139 mit Z-13.3-141 (Bauartgenehmigung für Windenergieanlagen), 24 externe Spannglieder vom Typ EX-84, Stahlgüte St 1570/ 1770	

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) wurden in den eingereichten statischen Berechnungen (siehe 1.2) geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Prüfung umfasst den vorgespannten Betonfertigteilturm mit Stahlsektionen.

Darüber hinaus wird die Konformität mit dem Turmmodell aus der Lastrechnung durch einen Abgleich mit dem zulässigen Turmeigenfrequenzbereich gemäß Abschnitt 4.2 überprüft.

Die Stahlkonstruktion zur Spanngliedverankerung am unteren Turmende wurde in der gutachtlichen Stellungnahme [1.3.17] bewertet.

Turmeinbauten (z.B. Arbeitsbühnen, Leitern oder Befahreinrichtungen) sowie zugehörige Schweißanschlüsse oder Verankerungen sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Die Schrauben der Ringflanschverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager sind ebenfalls nicht Bestandteil dieser Prüfung.

Montagezustände wurden unter Ansatz von Winddruck (s. [1.2.4] und [1.2.9]) und wirbelerregten Querschwingungen (s. [1.2.1], [1.2.4], [1.2.7], [1.2.8] und [1.2.9]) gemäß DIN EN 1991-1-4 berücksichtigt. Weitere Zustände während des Transports und der Montage sind nicht Bestandteil der Prüfung.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden in [1.2.1] berücksichtigt. Die Berechnung für Erdbebenzone 3 (Bedeutungskategorie I) mit Untergrundverhältnissen C-R und C-T decken alle Erdbebenzonen und Untergrundverhältnisse Deutschlands gemäß DIN EN 1998-1/NA ab.

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Allgemeines

Für die Bemessung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt Richtlinie Fassung März 2015 berücksichtigt.

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten und Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung wurde eine Auslenkung der Turmachse von 200 mm in Höhe des Betonadapters angenommen. Dies entspricht einer Turmschiefstellung von ca. 2,5 mm/m und liegt somit unter dem in der DIBt Richtlinie Fassung März 2015 geforderten Wert von 5 mm/m. Die Vergleichsrechnung zeigt jedoch ausreichende Sicherheiten. Zusätzlich wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder $k_{\varphi, \text{stat}} = 34\,760 \text{ MNm/rad}$ wurde in [1.2.4] und [1.2.5] ebenfalls berücksichtigt.

Die unter 1.1 und 1.2 aufgeführten Unterlagen sind mit einem TÜV NORD Stempel versehen.

Stahlteil

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweißverbindungen wurde mit $\gamma_{Mf} = 1,15$ und der Schraubverbindungen mit $\gamma_{Mf} = 1,265$ angesetzt.

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden Spannungsüberhöhungskurven aus [1.2.2] verwendet. Die Spannungsüberhöhungskurven wurden durch Vergleichsrechnung geprüft.

Der Ermüdungsnachweis der Schrauben wurde unter dem Ansatz von Schmidt-Neuper geführt. Hierbei wurde eine Schraubenvorspannkraft in Höhe von 90% der Werte nach [1.3.16] angesetzt.

Die Anlage Nr. 4 enthält einen Grüneintrag zur alternativen Stahlgüte für den Montageflansch 4.

Betonteil

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für Beton wurde gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu A.2.3 auf $\gamma_{c, \text{red}} = 1,35$ reduziert.

Für die Herstellung hochfester, selbstverdichtender Betone der Festigkeitsklassen C80/95 bis C100/115 besitzt die Max Bögl Fertigteilewerke GmbH & Co. KG die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z 3.51-2036 (s. [1.3.20]).

Die in Anlage Nr. 8 tabellarisch aufgelistete Bewehrung wurde für eine Ermüdungsfestigkeit des geschweißten Betonstahls gemäß Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [1.3.23] nachgewiesen.

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Maschinenbauliche Komponenten

- 5.4.1 Die Schrauben der Ringflanschverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager sind als Bestandteil der maschinenbaulichen Komponenten zu bewerten.
- 5.4.2 Der Nachweis des Turmkopfflansches wurde mit einer Schraubenvorspannkraft von 588 kN geführt.

Einbauten

- 5.4.3 Für den Ermüdungsnachweis der Turmwand der Topsektion wurde die Kerbfallklasse 80 gemäß DIN EN 1993-1-9 berücksichtigt.
- 5.4.4 Der Ermüdungsnachweis der Turmwand der Turmsektion A wurde mit den in [1.2.3] berechneten Strukturspannungen geführt.
- 5.4.5 Der Ermüdungsnachweis der Turmwand der Turmsektion B wurde bis zu einer Turmhöhe von 87,57 m über der Fundamentoberkante mit der Kerbfallklasse 90 gemäß DIN EN 1993-1-9 geführt. Ab einer Turmhöhe von 87,57 m wurden die in [1.2.3] berechneten Strukturspannungen berücksichtigt.
- 5.4.6 Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten (z.B. für Arbeitsbühnen, Leitern, Befahreinrichtungen oder Anschlagpunkte) haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit der Betonkonstruktion. Alle verwendeten Befestigungsmittel müssen jedoch bauaufsichtlich zugelassen und nachgewiesen sein. Bei Bemessungslasten von bis zu 100 kN pro Auflager bzw. 400 kN pro Arbeitsbühne im Bereich des Betonteils ist eine zusätzliche Prüfung der Turmstatik nicht erforderlich.

Fundament

- 5.4.7 Die Anforderungen an das Fundament sind in Anlage Nr. 13 (Konfigurationen Nr. 1 und 2), Anlage Nr. 14 (Konfiguration Nr. 3 und 4), Anlage Nr. 15 (Konfiguration Nr. 5) und Anlage Nr. 18 (Konfiguration Nr. 6) spezifiziert. Die Vorspannkkräfte am Turmfuß sind Anlage Nr. 17 zu entnehmen.
- 5.4.8 Die Gründung muss eine minimale dynamische Drehfedersteifigkeit von $k_{\varphi, \text{dyn}} = 173\,800 \text{ MNm/rad}$ und eine minimale statische Drehfedersteifigkeit von $k_{\varphi, \text{stat}} = 34\,760 \text{ MNm/rad}$ aufweisen.
- 5.4.9 Um die Funktionsfähigkeit der Anlage nicht zu beeinträchtigen, darf durch Setzungsunterschiede eine Fundamentneigung (Schiefstellung der Turmachse) von 3 mm/m innerhalb der Auslegungsdauer nicht überschritten werden.

Montage & Inbetriebnahme

5.4.10 Zur Vermeidung wirbelerregter Querschwingungen dürfen während der Montage folgende Zeiträume nicht überschritten werden:

Turm ohne Gondel:	7 Tage
Turm mit zwei Stahlsektionen:	7 Tage
Turm mit einer Stahlsektion:	7 Tage
Betonturm ohne Stahlsektionen (vorgespannt):	2 Monate

Falls die Windgeschwindigkeiten vor Ort die unter 5.4.11 genannten Werte von $0,9 \times v_{crit}$ übersteigen, sind für die Bauzustände mit einer oder mehrerer Stahlsektionen (ohne Gondel) entsprechende Maßnahmen gegen Querschwingungen zu treffen. Für den vorgespannten Betonturm ohne Stahlsektionen gilt dies, falls die oben genannte Dauer überschritten wird.

Der vollständig errichtete, nicht vorgespannten Betonturm darf unbegrenzt lange stehen, solange durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. Windgeschwindigkeitsprognosen und Windmessungen sichergestellt wird, dass die unter 5.4.11 genannte kritische Windgeschwindigkeit zu keiner Zeit erreicht wird.

5.4.11 Im Bauzustand darf die am oberen Turmende gemessene Windgeschwindigkeit einen Wert von $0,9 \times v_{crit}$ nicht überschreiten. Die maximal zulässige Windgeschwindigkeit beträgt somit:

Turm ohne Gondel und Rotor:	9,9 m/s
Turm ohne die oberste Stahlsektion:	13,4 m/s
Turm ohne die 2 oberen Stahlsektionen:	16,6 m/s
vollständig errichteter Betonturm (vorgespannt):	22,5 m/s bei $t \geq 2$ Monate
vollständig errichteter Betonturm (nicht vorgespannt):	kleiner 22,5 m/s

Andernfalls sind geeignete Maßnahmen zur Sicherung gegen wirbelerregte Querschwingungen zu treffen.

5.4.12 Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen im Wartungszustand (Turm mit Gondel und Rotor) wurde für einen Zeitraum von einem Jahr berücksichtigt.

5.4.13 Die Vorspannarbeiten am Betonfertigteilturm sind von einer Fachfirma auszuführen, welche für das verwendete Spanverfahren zugelassen ist. Für die Vorspannarbeiten sind die Spananweisung Anlage Nr. 17, die gutachtliche Stellungnahme [1.3.17] sowie die Anforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [1.3.21] und [1.3.22] zu beachten. Ein Überspannen der Spannlieder nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.10.2.1 (2) ist unzulässig (siehe [1.3.21], Abschnitt 3.1.2) und ist durch geeignete Maßnahmen zuverlässig auszuschließen. Der Spannvorgang ist zu dokumentieren.

- 5.4.14 Die Ankerbolzen für die Konfigurationen 5 und 6 sind gemäß Anlage Nr. 16 vorzuspannen. Für die Konfigurationen 1 bis 4 sind die Spannweisungen der vorherigen Prüfberichtsversionen heranzuziehen.
- 5.4.15 Die Vorspannkraft der Ankerbolzen darf erst aufgebracht werden, wenn der Betonadapter seine Nenndruckfestigkeit erreicht hat.
- 5.4.16 Für die Errichtung der Stahlsektionen sind die Spezifikationen [1.3.11] und [1.3.16] zu beachten.
- 5.4.17 Die 1. Eigenfrequenz des Gesamtsystems aus Turm und Fundament muss im Rahmen der Inbetriebnahme gemessen und dokumentiert werden. Sollte die gemessene 1. Eigenfrequenz außerhalb des im Lastgutachten definierten, zulässigen Bereichs liegen (siehe 4.2), sind weitere Untersuchungen anzustellen.
- 5.4.18 Beim Betriebsfestigkeitsnachweis der Betonfertigteile wurden für das Mindestbetonalter zum Zeitpunkt der zyklischen Erstbelastung die folgenden Werte angenommen:
- | | |
|-------------------|---------|
| Betonadapter AE1: | 90 Tage |
| Elemente C01-C10: | 53 Tage |
| Elemente C11-C28: | 32 Tage |

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.19 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 5.4.20 Innerhalb des 1. Halbjahres nach der Montage (jedoch nicht unmittelbar nach Inbetriebnahme) ist die planmäßige Vorspannung der Schrauben in den L-Flanschverbindungen, wie in [1.3.16] beschrieben, sicherzustellen.
- 5.4.21 Der Korrosionsschutz ist regelmäßig zu überprüfen und bei Bedarf zu erneuern.
- 5.4.22 Die Vorspannkraft der Ankerstäbe ist für die Konfigurationen 5 und 6 gemäß Anlage Nr. 16 zu überprüfen. Für die Konfigurationen 1 bis 4 sind die Spannweisungen der vorherigen Prüfberichtsversionen heranzuziehen.
- 5.4.23 Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen bei wartungsbedingten Stillstandszeiten (Turm inklusive Gondel und Rotor) wurde für einen Zeitraum von 1 Jahr berücksichtigt.
- 5.4.24 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist das Spannsystem auf Funktionsfähigkeit zu untersuchen. Ferner ist festzustellen, dass keine Korrosionsschutzmasse (insbesondere am Spannanker und an den Umlenkstellen) austritt.

6 Auflagen

Allgemeines

- 6.1 Die Betonteile des Turms sind nicht für die Expositionsklasse XS nach DIN EN 1992-1-1/NA ausgelegt und eignen sich somit auch nicht für Standorte in Küstennähe (salzhaltige Luft).
- 6.2 Für jeden geplanten WEA-Standort ist ein Nachweis der Standorteignung gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Abschnitt 16.2 vorzulegen. Für die Windenergieanlagen GE4.x-158 / 5.x-158 gilt der Nachweis als erbracht, wenn die Standortbedingungen durch die nachfolgend aufgeführten Windbedingungen und -parameter abgedeckt sind:

Konfiguration Nr.	Windenergieanlage	Lastgutachten
1	GE 5.3-158	[1.3.2], Abschnitt 4.1
2	GE 5.3-158 NPI	[1.3.25], Abschnitt 4.1
3	GE 5.3-158	[1.3.4], Abschnitt 4.1
4	GE 4.8-158	[1.3.6], Abschnitt 4.1
5	GE 5.3-158	[1.3.8], Abschnitt 4.1
6	GE 5.5-158	[1.3.10], Abschnitt 4.1

- 6.3 Während der Bauphasen ist die Windgeschwindigkeit zu überwachen. Die in 5.4.11 aufgeführten Windgeschwindigkeiten dürfen nicht überschritten werden. Ansonsten sind weitere Maßnahmen gegen das Auftreten von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.

Betonteil

- 6.4 Bei der Herstellung, Ausführung und Aufstellung sämtlicher Betonbauteile sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der DIN 1045-4 zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.
- 6.5 Hebe- und Transportanker für die Betonfertigteile sind gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bzw. gemäß Herstellerangaben einzubauen und zu verwenden. Hierbei sind insbesondere die Zusatzbewehrung, die Mindestabstände und die zulässigen Winkel der Anschlagmittel zu beachten.
- 6.6 Die Fertigteile müssen werksmäßig hergestellt und dabei ständig überwacht werden. Im Rahmen der Reduzierung des Materialteilsicherheitsbeiwertes auf $\gamma_{C,red} = 1,35$ (s. DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu A.2.3 (1)) muss durch eine Überprüfung der Betonfestigkeit sichergestellt werden, dass Fertigteile mit zu geringer Betonfestigkeit ausgesondert werden.

- 6.7 Die Toleranzen bei der Geometrie der Betonfertigteile, insbesondere bei der Ebenheit der trockenen Horizontalfugen, sind im Rahmen des QM-Systems des Herstellers festzulegen und zu kontrollieren. Fertigteile, welche diesen Anforderungen nicht genügen, sind auszusondern.
- 6.8 Das Vorhaltemaß $\Delta_{C_{dev}}$ wurde gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP Zu 4.4.1.3 (3) um 5 mm reduziert. Etwaige Zusatzanforderungen, die sich hieraus an die Ausführung bzw. Qualitätsüberwachung ergeben, sind vom Hersteller zu berücksichtigen.
- 6.9 Gemäß DIN EN 61400-1 [2.2], Abschnitt 7.6.2.1 darf beim Nachweis der Fundamenttragfähigkeit der Teilsicherheitsbeiwert für das Turmeigengewicht γ_f bei günstiger Einwirkung mit 1,00 angesetzt werden. Durch ein entsprechendes QM-System ist die charakteristische Wichte des Rohbetons nachzuweisen. Somit ist bei jeder im Rahmen der Konformitätskontrolle gemäß DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2, Abschnitt 8.2.1 entnommenen Probe auch die Festbetonroh-dichte gemäß DIN EN 12390-7 zu ermitteln. Für jede Probe ist eine Festbetonroh-wichte $\geq 24,2 \text{ kN/m}^3$ nachzuweisen; im Falle einer stetigen Herstellung und einer Probenanzahl $n \geq 15$ ist die Festbetonroh-wichte von $24,2 \text{ kN/m}^3$ nur für das 5%-Quantil nachzuweisen. Zusammen mit der gewählten Bewehrungsmen-ge im Turm kann somit von einer charakteristischen Stahlbetonwichte von 25 kN/m^3 ausgegangen werden.

Stahlteil

- 6.10 Für die Ausführung der Stahlsektionen gilt DIN EN 1090. Als Mindestanforde-rung für Windenergieanlagen gilt die Ausführungsklasse EXC3.
- 6.11 In der Turmsektion B (ab einer Turmhöhe von 87,57 m über Fundamentober-kante) und in der kompletten Turmsektion A müssen die Buchsen zur Befesti-gung von Einbauten die in [1.3.15] definierten Abmessungen aufweisen.
- 6.12 Beim Flansch MF3 muss der Abstand vom Schweißnahtübergang bis zur obe-ren Flanschoberfläche ($l + r$, s. DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Bild 12) mindestens der halben anschließenden Turmwanddicke entsprechen.
- 6.13 Die Toleranzen der Qualitätsklasse B gemäß DIN EN 1993-1-6 sind einzuhal-ten. Die Ergebnisse sind entsprechend zu dokumentieren.
- 6.14 Bei allen für Ringflanschverbindungen eingesetzten Schraubentypen ist durch eine Verfahrensprüfung des Schraubenherstellers zu belegen, dass die in [1.3.16] angegebenen Vorspannkkräfte mit dem angewendeten Vorspannverfah-ren erreicht werden und die Schrauben für die daraus resultierenden Belastun-gen geeignet sind. Bei den Nachweisen sind die Abmessungen der Schraube und des Klemmpakets zu beachten. Der Nachweis muss für alle verwendeten Schraubentypen des jeweiligen Herstellers erbracht werden.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt der hier geprüfte Hybridturm G20 die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

Der Prüfbericht zur Typenprüfung gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Windenergieanlagenkonfigurationen.

Im Falle von standsicherheitsrelevanten Änderungen an der Turmkonstruktion verliert dieser Bericht seine Gültigkeit.

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Für eine vollständige Typenprüfung müssen alle gutachtlichen Stellungnahmen gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Kapitel 3, Abschnitt I sowie ein Prüfbescheid zur Typenprüfung vorliegen.

Der stellvertretende Leiter

Dipl.-Ing. (FH) S. Möller

An der Prüfung beteiligt:
B.Eng. / M.Sc. P. Roycroft
Dipl.-Ing. T. Ladišić

