

Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlagen VENSYS 126 und VENSYS 126 Version 2,
Rotorblatt EBT61.6, Nabenhöhe 136,9 m,
DIBt Windzone 2, Geländekategorie II**

- Hybridturm Y23 -

Prüfbericht Nr.:	T-7005/21-1 Rev. 0	
Gegenstand der Prüfung:	Standicherheit des Hybridturms Y23 für die oben genannten Windenergieanlagen als Betonfertigteilturm mit Stahlsektionen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)	
Anlagenhersteller (Antragsteller):	VENSYS Energy AG Im Langental 6 66539 Neunkirchen Deutschland	
Dokumentation:	VENSYS Energy AG Im Langental 6 66539 Neunkirchen Deutschland	grbv wind GmbH Expo Plaza 10 30539 Hannover Deutschland
		Max Bögl Wind AG Postfach 11 20 92301 Neumarkt Deutschland

Dieser Prüfbericht wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Prüfberichts ist nur durch eine vorherige, schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Anlagenherstellers bzw. Antragstellers gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet. Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 18 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	24.03.2021	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	5
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einleitung	8
4	Beschreibung.....	9
4.1	Turm.....	9
4.2	Lastannahmen	10
4.3	Baustoffe	11
5	Prüfung	12
5.1	Umfang und Methodik	12
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	13
5.3	Ergebnisse	14
5.4	Schnittstellen.....	14
6	Auflagen.....	16
7	Zusammenfassung	17

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Berechnungen

- [1.1.1] VENSYS Energy AG:
Berechnung Stahlteil: „3.8MW VENSYS126 HH136.9m IEC IIIA EBT 61.6
HYBRIDTURM – STAHLROHRTURM STATISCHE BERECHNUNG VS136 IEC
IIIA EBT61.6“, Dokument-Nr.: 23_02_2052_01_B_VS126HH137_static.docm,
Rev. B, Datum: 24.02.2021
- [1.1.2] grbv wind GmbH:
Berechnung Betonteil: „Statische Berechnung Projektnummer: 50180-163
Bauvorhaben: VENSYS Windenergieanlage 3,8 MW VS126 HH137 m IEC IIIA
Hybridturm Y23 Thema: Statische Bemessung des Spannbetonfertigtei-
schaftes mit externer Vorspannung“, Dokument-Nr.:
34580-163-711_Y23-Block I bis IV_rev01_2021-02-25.pdf, Seite 1 - 9 zzgl.
Deckblatt, Rev. 01, Datum: 25.02.2021
mit nachfolgend aufgeführten, zusätzlichen Blöcken:
- Block V.A „Adapter“, Seite A1 - A82,
Dateiname: 34580-163-711_Y23-Adapter_rev01_2021-02-25.pdf
Block V.B „Spannbetonfertigteilschaft“, Seite B1 - B143,
Dateiname: 34580-163-711_Y23-Spannbetonschaft_rev01_2021-02-25.pdf
Block V.C „Bauzustände“, Seite C1 - C88,
Dateiname: 34580-163-711_Y23-Bauzustaende_rev01_2021-02-25.pdf
- [1.1.3] VENSYS Energy AG:
Allgemeine Berechnungen zum Kopfflansch:
„VENSYS 3k5MW Turm Kopfflanschexzentrizität“,
Dokument-Nr.: VENSYS3k5MW_KF_Rev_B.docx, Rev. B, Datum: 06.06.2018
- [1.1.4] VENSYS Energy AG:
Argumentation zum Kopfflansch für die WEA VENSYS 126 Version 2:
„VENSYS 3k5MW-INT Turm Kopfflanschexzentrizität“,
Dokument-Nr.: VENSYS3k5MW-INT_KF_Rev_A.docx, Rev. A,
Datum: 27.07.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

Zeichnungen zum Stahlrohrturm für die WEA VENSYS 126

- [1.1.5] VENSYS Energy AG:
„SV Azimutlager“, Dokument-Nr.: 23.06.0169, Rev. b, Datum: 06.06.2018

[1.1.6] VENSYS Energy AG:
„VS126 HH136.9 Hybridturm“,
Dokument-Nr.: 23.02.2052.03, Rev. A, Datum: 18.02.2021

Zeichnung zum Stahlrohturm für die WEA VENSYS 126 Version 2

[1.1.7] VENSYS Energy AG:
„VENSYS 126INT HH136.9 Hybridturm“,
Dokument-Nr.: 23.02.2055.03, Rev. A, Datum: 25.02.2021

Zeichnungen erstellt von Max Bögl Wind AG

[1.1.8] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Uebersichtsplan Gesamtturm“,
Dokument-Nr.: DE Y23 001 XX X Uebersicht, Rev. a, Datum: 10.02.2021

[1.1.9] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Schalplan Rohteile C-Ringe“,
Dokument-Nr.: DE Y23 095 XX X Schalplan, Rev. -, Datum: 22.12.2020

[1.1.10] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Schalplan Uebergangsstueck“,
Dokument-Nr.: DE Y23 AE1 K1 X Schalplan, Rev. -, Datum: 22.12.2020

[1.1.11] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Bewehrung Rohteile C-Ringe (3-
teilig)“,
Dokument-Nr.: DE Y23 096 XX X Bewehrung, Rev. a, Datum: 10.02.2021

[1.1.12] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Bewehrung Uebergangsstueck“,
Dokument-Nr.: DE Y23 AE1 K1 X Bewehrung, Rev. -, Datum: 14.01.2021

[1.1.13] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Fugendetailplan“,
Dokument-Nr.: DE Y23 M008 Montageplan, Rev. a, Datum: 08.02.2021

[1.1.14] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Gewindestange fuer Uebergangs-
stueck mit Decordynbeschichtung T0251903“,
Dokument-Nr.: XX XXX M48 HV 1 Schalplan, Rev. -, Datum: 15.01.2021

[1.1.15] „Bauvorhaben: Windkraftanlage Bauteile: Gewindestange fuer Uebergangs-
stueck mit Schrumpfschlauch T0251904“,
Dokument-Nr.: XX XXX M48 HV 2 Schalplan, Rev. -, Datum: 15.01.2021

Spezifikationen

[1.1.16] grbv wind GmbH:
Spannanweisung Spannglieder: „Statische Berechnung Projektnummer: 50180-
163 Bauvorhaben: VENSYS Windenergieanlage 3,8 MW VS126 HH137 m IEC
IIIA Hybridturm Y23 Thema: Spannanweisungen der Spannglieder“, Dokument-
Nr.: 34580-163-711_Y23-Spannglieder_SUPSA_rev00_2020-12-11.pdf,
Rev. 00, Datum: 11.12.2020

[1.1.17] grbv wind GmbH:

Spannanweisung Ankerstäbe: „Statische Berechnung Projektnummer: 50180-163 Bauvorhaben: VENSYS Windenergieanlage 3,8 MW VS126 HH137 m IEC IIIA Hybridturm Y23 Thema: Spannanweisungen der Ankerstangen“, Dokument-Nr.: 34580-163-711_Y23-Ankerstangen_rev00_2021-01-21.pdf, Rev. 00, Datum: 21.01.2021

[1.1.18] grbv wind GmbH:

Fundamentlasten: „Statische Berechnung Projektnummer: 50180-163 Bauvorhaben: VENSYS Windenergieanlage 3,8 MW VS126 HH137 m IEC IIIA Hybridturm Y23 Thema: Anforderungen an das Fundamentdesign“, Dokument-Nr.: 34580-163-711_Y23_Anforderungen_Fundament_rev00_2020-12-11.pdf, Rev. 00, Datum: 11.12.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen für die WEA VENSYS 126

[1.2.1] VENSYS Energy AG:

„VENSYS 126 3.8 MW EBT 61.6 HH 136.9 Y23 IECIII A, DIBt2 Lasten Extremlasten“, Dokument-Nr.: VS126P38T137K3ABEBT616_Extremlasten_RevG, Rev. G, Datum: 02.02.2021

[1.2.2] VENSYS Energy AG:

„VENSYS 126 3.8 MW EBT 61.6 HH 136.9 Y23 IECIII A DIBt2 Lasten Betriebslasten“, Dokument-Nr.: VS126P38T137K3ABEBT616_Betriebslasten_RevB, Rev. B, Datum: 19.01.2021

[1.2.3] VENSYS Energy AG:

Markov Matrizen (elektronisch erhalten):
Dateiname: VS126P38T137K3ABEBT616_MM_T__RevA, Rev. A, Datum: 07.10.2020

[1.2.4] VENSYS Energy AG:

„VENSYS 126 3.8 MW EBT 61.6 HH 136.9 Y23 IECIII A DIBt2 Lasten Lastfalldefinition“, Dokument-Nr.: VS126P38T137K3ABEBT616_Lastfalldefinition_RevD, Rev. D, Datum: 25.01.2021

[1.2.5] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage VENSYS 126 RB EBT 61.6, NH 136.9 m (Hybrid, Y23) DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen -“, TÜV NORD Bericht Nr.: 8118806193-1 D I Rev.0, Datum: 08.02.2021

Lastannahmen für die WEA VENSYS 126 Version 2

- [1.2.6] VENSYS Energy AG:
Vergleich VENSYS 3.5 MW mit VENSYS 3.5MW INT:
„VENSYS 3.5 MW INT Plattform Vergleich VENSYS 115/126/136 & VENSYS 115/126/136 INT“, Dokument-Nr.: VENSYS_3k5MW_INT_Lasten_RevK, Rev. K, Datum: 21.10.2020
- [1.2.7] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage VENSYS 3.5MW INT DIBt WZ 2/3, GK II - Lastannahmen -“, TÜV NORD Bericht Nr.: 8118018803-1 DI Rev. 1, Datum: 11.03.2021
- [1.2.8] VENSYS Energy AG:
Argumentationsdokument zur Übertragbarkeit der Lasten bei verkürzten Türmen: „VENSYS 3.5MW INT-Plattform Verkürzte Türme Argumentationsdokument Lasten“, Dokument-Nr.: VENSYS_3k5MW_INT_VerkuerzteTuerme_RevE.docx, Rev. E, Datum: 12.03.2021
- [1.2.9] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlagen der Plattform VENSYS 3.5MW INT DIBt WZ 2/3 GK II - Lastannahmen -“, TÜV NORD Bericht Nr.: 8118018803-1 DII Rev.2, Datum: 22.03.2021

Spezifikationen

- [1.2.10] VENSYS Energy AG:
„Spezifikation Normen Windenergieanlagen VENSYS Anlagen Anlagen alle Nabenhöhen“, Dokument-Nr.: Spec_standards_j, Rev. j, Datum: 24.05.2018
- [1.2.11] VENSYS Energy AG:
„Spezifikation Material Windenergieanlagen VENSYS Anlagen alle Nabenhöhen“, Dokument-Nr.: Spec_material_I, Rev. I, Datum: 24.05.2018
- [1.2.12] VENSYS Energy AG:
„Spezifikation Schweißnähte Windenergieanlagen VENSYS Anlagen alle Nabenhöhen“, Dokument-Nr.: Spec_welding_seams_o, Rev. o, Datum: 31.01.2019
- [1.2.13] Max Bögl Wind AG:
„Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm Projektnummer: 21683 Nabenhöhe: Bis 200 m Bauteil: Spannbetonturm und Fundament“, Dokument-Nr.: 2020-05-18_MB-Spezifikation-RT20_Rev. g.pdf, Rev. g, Datum: 15.06.2020

- [1.2.14] Peil Ingenieure, Wolfenbüttel (Prof. Udo Peil):
Querschwingungsverhalten im Bauzustand: „Gutachtliche Stellungnahme zu
Fragen der Beanspruchung des Hybridturmes einer WEA“, 63 Seiten inkl. 7
Anlagen, Datum 26.01.2021

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

- [1.2.15] 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
- [1.2.16] 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
- [1.2.17] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-141; Gegenstand dieses
Bescheides: SUSPA-Draht EX für Windenergieanlagen“, gültig vom 15.04.2019
bis 16.04.2021
- [1.2.18] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
"Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung;
Nummer: Z-1.3-284; Gegenstand dieses Bescheides: Geschweißte Beweh-
rungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung,
Nenn Durchmesser: 10.0 und 12.0 mm", gültig vom 01.06.2019 bis 01.06.2024

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnach-
weise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 +
A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1991-1-1:2010-12 + DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 + A1:2015-05:
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen
auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1991-1-4:2010-12 + DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12:
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen -
Windlasten“

- [2.5] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.6] DIN EN 1993-1-1:2010-12 + DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12: „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.7] DIN EN 1993-1-6:2010-12 + DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12: „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen“
- [2.8] DIN EN 1993-1-8:2010-12 + DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12: „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“
- [2.9] DIN EN 1993-1-9:2010-12 + DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12: „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung“
- [2.10] DIN EN 1993-1-10:2010-12 + DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12: „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung“
- [2.11] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01: „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.12] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAfStb Heft 439, 1994
- [2.13] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, DAfStb Heft 600, 2012

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung eines Hybridturms, welcher nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

4 Beschreibung

4.1 Turm

Es gibt 2 Versionen des Hybridturms Y23, der Stahlteil für die WEA VENSYS 126 Version 2 ist 0,44 m kürzer als der für die WEA VENSYS 126.

Der Turm hat eine von OK Fundament bis OK Kopfflansch gemessene Höhe von 133,091 (VENSYS 126) bzw. 132,651 m (VENSYS 126 Version 2). Da die Turmwand 1 cm tief in die Vergussfuge einbindet, beträgt die von Turmfuß bis OK Kopfflansch gemessene Turmlänge 133,101 m (VENSYS 126) bzw. 132,661 m (VENSYS 126 Version 2). Die Turmhöhe über GOK beträgt 134,901 m (VENSYS 126) bzw. 134,461 m (VENSYS 126 Version 2). Der Turm besteht aus einem vorgespannten Betonfertigteilturm und einem Stahlteil. Der Außendurchmesser des Betonturms beträgt 7,8875 m am Turmfuß, der Kopfflansch des Stahlteils zur Aufnahme der Anlage hat einen Außendurchmesser von 3,296 m.

Da bei der Windenergieanlage VENSYS 126 Version 2 der Abstand zwischen Kopfflansch und Nabe höher ist als bei der Windenergieanlage VENSYS 126, haben beide Anlagen die gleiche Nabhöhe.

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

Die Segmente bestehen aus werksmäßig hergestellten Stahlbetonfertigteilen. Die Segmente werden aus jeweils 3 Schalenelementen zusammengefügt und verschraubt, lediglich der Betonadapter ist monolithisch.

Die horizontale Fuge zwischen den einzelnen Segmenten wird als verbundlose Systemfuge ausgeführt. 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. Die Spannstelle befindet sich dabei im Spannkeller des Fundaments.

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 zusammengeschraubt.

Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Die folgenden Anlagenkonfigurationen wurden bei der Turmprüfung berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Nennleistung	Rotorblatt	Rotor-Ø	Gondelmasse***	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Turmnachweise
1	VENSYS 126	136,9 m	3,8 MW	EBT61.6**	126,15 m	211,018 t	WZ 2	GK II	[1.1.1], [1.1.2], [1.1.3]
2	VENSYS 126 Version 2*	136,9 m	3,8 MW	EBT61.6**	126,16 m	222,921 t	WZ 2	GK II	[1.1.1], [1.1.2], [1.1.3], [1.1.4]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfigurationen für Turmnachweise

- *) In den eingereichten Dokumenten wird diese Variante als „VENSYS 126 INT“ bezeichnet.
 **) Das Rotorblatt EB61.6 wurde in EBT61.6 umbenannt. Referenzierte Dokumente, die den Blattnamen EB61.6 enthalten, bleiben weiterhin gültig.
 ***) Inklusive Rotor.

WEA VENSYS 126:

In [1.1.1] wurde die erste Turmeigenfrequenz bei elastischer und bei starrer Fundamenteinspannung ermittelt:

$$f_0 = 0,253 \text{ (side-side) / } 0,255 \text{ (fore-aft) Hz}$$

bei elastischer Einspannung ($k_{\phi, \text{dyn}} = 150\,000 \text{ MNm/rad}$)

$$f_0 = 0,272 \text{ (side-side) / } 0,273 \text{ (fore-aft) Hz}$$

bei starrer Einspannung ($k_{\phi, \text{dyn}} = 1\text{E}09 \text{ MNm/rad}$)

WEA VENSYS 126 Version 2:

In [1.2.8] wurde die erste Turmeigenfrequenz bei elastischer und bei starrer Fundamenteinspannung ermittelt:

$$f_0 = 0,249 \text{ (side-side) / } 0,250 \text{ (fore-aft) Hz}$$

bei elastischer Einspannung ($k_{\phi, \text{dyn}} = 150\,000 \text{ MNm/rad}$)

$$f_0 = 0,267 \text{ (side-side) / } 0,268 \text{ (fore-aft) Hz}$$

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 $k_{\phi, \text{dyn}} = 400\,000 \text{ MNm/rad}$ (VENSYS 126) und ein E-Modul des Betons von $47\,000 \text{ N/mm}^2$ angesetzt.

Bei der WEA VENSYS 126 Version 2 wurde eine minimale, elastische Einspannung von $k_{\phi, \text{dyn}} = 150\,000 \text{ MNm/rad}$ angenommen (s. [1.2.9]).

Die folgenden Lastannahmen liegen der Turmberechnung zugrunde:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Nennleistung	Rotorblatt	Gondelmasse***	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	VENSYS 126	136,9 m	3,8 MW	EBT61.6**	211,018 t	WZ 2	GK II	[1.2.1] - [1.2.4]	[1.2.5]
2	VENSYS 126 Version 2*	136,9 m	3,8 MW	EBT61.6**	222,921 t	WZ 2	GK II	[1.2.1] - [1.2.4], [1.2.6], [1.2.8]	[1.2.5], [1.2.7], [1.2.9]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

- *) In den eingereichten Dokumenten wird diese Variante als „VENSYS 126 INT“ bezeichnet.
 **) Das Rotorblatt EB61.6 wurde in EBT61.6 umbenannt. Referenzierte Dokumente, die den Blattnamen EB61.6 enthalten, bleiben weiterhin gültig.
 ***) Inklusive Rotor.

WEA VENSYS 126:

Die Lastannahmen sind für eine ungekoppelte, erste Turmeigenfrequenz von 0,251 - 0,277 Hz (Schwingungen in Schubrichtungen) gültig (s. [1.2.5]).

WEA VENSYS 126 Version 2:

Die Lastannahmen sind für eine ungekoppelte, erste Turmeigenfrequenz von 0,250 - 0,277 Hz (Schwingungen in Schubrichtungen) gültig (s. [1.2.9]).

Die Auslegungslebensdauer beträgt 20 Jahre.

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. den Spezifikationen [1.2.11] (Stahlteil) und [1.2.13] (Betonfertigteilturm) entnommen werden.

Stahlteil

Baustahl:	S355	DIN EN 10025-2 bis -3
L-Flanschschrauben:	HV-Garnituren Festigkeitsklasse 10.9	DIN EN 14399 / DAST-RiLi 021 DIN EN ISO 898-1

Darüber hinaus basiert die Bemessung des Stahlteils auf folgenden Annahmen:

Die Ringflansche werden aus gewalzten Stäben hergestellt, nahtlos ringgewalzt oder abbrennstumpfesgeschweißt. Für den Kopfflansch wird in [1.1.1] folgende Streckgrenze angenommen:

- Kopfflansch: $R_{eH} = 285 \text{ N/mm}^2$

Ankerkorb

Ankerbolzen:	Festigkeitsklasse 10.9	DIN EN ISO 898-1
Gewinde, Muttern und Unterlegscheiben:	M48	DIN EN 1993-1-8, Bezugsnormengruppe 4

Betonfertigteilturm

Beton:	C80/95 und C100/115	DIN EN 206-1, DIN 1045-2 (bzw. Zulassung [1.2.15])
Betonstahl:	B500B	DIN 488
Spannverfahren:	SUSPA-Draht EX-72, Zulassung [1.2.16] und [1.2.17], 20 externe Spannglieder belegt mit 72 Drähten, Stahlgüte St 1570/1770	
Vergussmörtel am Turmfuß:	≥ C70/85	DIN EN 206-1 Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb- Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementge- bundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“ genügen.

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) wurden in den eingereichten statischen Berechnungen (siehe 1.1) geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Prüfung umfasst den vorgespannten Betonfertigteilturm (einschließlich der Spannglieder, der Ankerköpfe und der Vergussfuge am Turmfuß) mit Stahlsektionen.

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

Die Verankerungsbauteile für die Spannglieder im Fundament sind ebenfalls nicht Bestandteil dieser Prüfung.

Darüber hinaus wurde die Konformität mit dem Turmmodell aus der Lastrechnung hinsichtlich folgender Punkte überprüft:

- Zulässiger Turmeigenfrequenzbereich gemäß Abschnitt 4.2
- Turmaußenabmessungen hinsichtlich des verbleibenden Freigangs bei durchgebogenen Rotorblättern

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

Montagezustände wurden unter Ansatz von Winddruck und wirbelerregten Querschwingungen 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 [1.2.5] berücksichtigt. Die Berechnung für Erdbebenzone 3 / Baugrundklasse C (gemäß DIN EN 1998-1/NA:2011-01) sowie Erdbebenzone 4 / Baugrundklasse E (gemäß OENORM B 1998-1:2011-06) deckt alle Standorte in Deutschland und Österreich 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 Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) berücksichtigt.

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten und Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung wurde eine Auslenkung der Turmachse von 200 mm auf Höhe der Oberkante des Betonadapters angenommen. Dies entspricht einer Turmschiefstellung von ca. 2,88 mm/m und liegt somit unter dem in der DIBt Richtlinie 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 $k_{\varphi, \text{stat}} = 32\,000 \text{ MNm/rad}$ wurde ebenfalls berücksichtigt.

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

Stahlteil

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweiß- und Schraubverbindungen wurde mit $\gamma_{Mf} = 1,15$ (bzw. mit 1,25 bei den Ankerbolzen) angesetzt.

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden Spannungsüberhöhungskurven aus [1.1.3] verwendet. Die Verbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager ist in der Zeichnung [1.1.5] dargestellt. Die dort abgebildeten Bohrungen im Turmkopfflansch $\varnothing 33 \text{ mm}$ gelten für die WEA VENSYS 126. Bei der WEA VENSYS 126 Version 2 haben die Bohrungen einen Durchmesser von 39 mm. Diese Abweichung wurde in statischer Hinsicht geprüft.

Betonteil

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

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 Mindest-Schraubenvorspannkraft von 320 kN geführt.

Einbauten

- 5.4.3 Für den Ermüdungsnachweis der Turmwand wurde die Kerbfallklasse 80 gemäß DIN EN 1993-1-9 berücksichtigt.
- 5.4.4 Der Mindestabstand aller Einbauten zu anderen Schweißnähten oder Kerbfällen mit einer höheren Kerbfallklasse als 80 (s. Zeichnung [1.1.6]) beträgt 100 mm.
- 5.4.5 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

- 5.4.6 Die Anforderungen an das Fundament sind in [1.1.18] spezifiziert, die Vorspannkraft am Turmfuß sind [1.1.16] zu entnehmen.

Montage & Inbetriebnahme

5.4.7 Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen während der Errichtung wurde für die folgenden Zeiträume berücksichtigt:

Turm ohne Stahlsektionen (vorgespannt):	2 Jahre
Turm ohne die 2 oberen Stahlsektionen:	7 Tage
Turm ohne die oberste Stahlsektion:	7 Tage
Turm ohne Gondel:	7 Tage
Turm mit Gondel ohne Generator, ohne Rotor:	14 Tage
Turm mit Gondel und Generator, ohne Rotor:	28 Tage

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

Falls die oben genannten Zeiträume nicht eingehalten werden können und die vor Ort gemessenen Windgeschwindigkeiten die unter 5.4.8 aufgeführten Windgeschwindigkeiten überschreiten, sind geeignete Maßnahmen zur Sicherung gegen wirbelerregte Querschwingungen zu treffen.

Gemäß [1.2.14] sind wirbelerregte Querschwingungen beim vollständig errichteten, noch nicht vorgespannten Betonturm unkritisch. Die Schnittstelle 5.4.9 ist jedoch zu beachten.

5.4.8 Falls die unter 5.4.7 genannten Zeiträume nicht eingehalten werden, darf die jeweils am oberen Turmende gemessene Windgeschwindigkeit einen Wert von $0,8 \times v_{crit}$ nicht überschreiten. Die maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten betragen somit:

Turm ohne Stahlsektionen (vorgespannt):	32,5 m/s (t > 2 Jahre)
Turm ohne die 2 oberen Stahlsektionen:	17,4 m/s (t > 7 Tage)
Turm ohne die oberste Stahlsektion:	13,6 m/s (t > 7 Tage)
Turm ohne Gondel:	8,4 m/s (t > 7 Tage)
Turm mit Gondel ohne Generator, ohne Rotor:	5,2 m/s (t > 14 Tage)
Turm mit Gondel und Generator, ohne Rotor:	4,2 m/s (t > 28 Tage)

5.4.9 Der nicht vorgespannte Betonturm wurde für einen Bauzustand von 12 Monaten und Beanspruchung aus Windgeschwindigkeitsdruck nachgewiesen.

5.4.10 Die Vorspannarbeiten am Betonfertigteilturm sind von einer Fachfirma auszuführen, welche für das verwendete Spannverfahren zugelassen ist. Für die Vorspannarbeiten sind die Spannweisung [1.1.16] sowie die Anforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [1.2.16] und der allgemeinen Bauartgenehmigung [1.2.17] zu beachten. Der Spannvorgang ist zu dokumentieren.

5.4.11 Bei der Errichtung der Stahlsektionen sind die Spezifikationen [1.2.10] bis [1.2.12] zu beachten.

5.4.12 Die Schrauben in den Vertikalfugen der Betonfertigteiltringe sind gemäß [1.1.13] vorzuspannen.

- 5.4.13 Die Ankerbolzen im Betonadapter sind gemäß [1.1.17] vorzuspannen.
- 5.4.14 Die Vorspannkraft der Ankerbolzen darf erst aufgebracht werden, wenn der Betonadapter seine Nenndruckfestigkeit erreicht hat.
- 5.4.15 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.
- 5.4.16 Beim Betriebsfestigkeitsnachweis der Betonfertigteile wurde ein Betonalter von 35 Tagen zum Zeitpunkt der zyklischen Erstbelastung angenommen.

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.17 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 5.4.18 Innerhalb des 1. Halbjahres nach der Montage (jedoch nicht unmittelbar nach Inbetriebnahme) ist die planmäßige Vorspannung der Schrauben in den L-Flanschverbindungen durch Nachspannen sicherzustellen.
- 5.4.19 Der Korrosionsschutz ist regelmäßig zu überprüfen und bei Bedarf zu erneuern.
- 5.4.20 Die Vorspannkraft der Ankerbolzen muss gemäß [1.1.17] überprüft und ggf. wieder aufgebracht werden, um etwaige Vorspannkraftverluste aus Kriech- und Schwindeffekten auszugleichen.

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 Während der Errichtung des Turms ist die Windgeschwindigkeit zu überwachen. Die unter 5.4.8 aufgeführten Windgeschwindigkeiten dürfen nicht überschritten werden, falls die unter 5.4.7 genannten Zeiträume für die Errichtung nicht eingehalten werden. Ansonsten sind geeignete Maßnahmen gegen das Auftreten von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.

Betonteil

- 6.3 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.

- 6.4 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.
- 6.5 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.
- 6.6 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.
- 6.7 Das Vorhaltemaß Δ_{Cdev} 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.
- 6.8 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 Festbetonrohichte gemäß DIN EN 12390-7 zu ermitteln. Für jede Probe ist eine Festbetonrohichte $\geq 24,2 \text{ kN/m}^3$ nachzuweisen; im Falle einer stetigen Herstellung und einer Probenanzahl $n \geq 15$ ist die Festbetonrohichte von $24,2 \text{ kN/m}^3$ nur für das 5%-Quantil nachzuweisen. Zusammen mit der gewählten Bewehrungsmenge im Turm kann somit von einer charakteristischen Stahlbetonwichte von 25 kN/m^3 ausgegangen werden.

Stahlteil

- 6.9 Für die Ausführung der Stahlsektionen gilt DIN EN 1090. Als Mindestanforderung für Windenergieanlagen gilt die Ausführungsklasse EXC3.
- 6.10 Die Spezifikationen [1.2.10] bis [1.2.12] sind ist zu beachten.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt der hier geprüfte Hybridturm Y23 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 Leiter



Dipl.-Ing. Thomas Krause

An der Prüfung beteiligt:
Dipl.-Ing. / M.Sc. U. Lingslebe
M.Sc. R. Diewald