

Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen

ENERCON

E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01

ENERCON GmbH
Dreekamp 5
D - 26605 Aurich
Telefon: 0 49 41 – 927–0
Telefax: 0 49 41 – 927–109

Rev. 5



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 26.02.2024

Prüfnummer: 3443492-3-d Rev. 6

Objekt: Turm und Fundamente – Hybridturm
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3
Varianten R0 und R1
Rotorblatt Typ LM 78.3 P
Nabenhöhe 166,7 m
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller und
Konstruktion
WEA:** ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

**Hersteller und
Konstruktion Turm
und Fundament:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Gültig bis: 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:
3443492-3-d_Rev.
6_ENERCON_E-160 EP5 E3-
HT-166-ES-C-01_TPB.docx

Das Dokument besteht aus
8 Seiten.
Seite 1 von 8

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	15.12.2021	Erstfassung
1	26.01.2022	Aufnahme Tiefgründung [3].
2	08.02.2023	Dokumente [1] bis [5] aktualisiert. Aktualisierung der Anlagenparameter in Tabelle 1.
3	12.10.2023	Dokumente [1] bis [3] aktualisiert.
4	05.12.2023	Dokumente [1] und [2] aktualisiert. Neue Dokumente [5] und [6]. Aufnahme Variante R1
5	20.02.2024	Dokument [7] aktualisiert und Auflage 1 entfernt.
6	26.02.2024	Dokument [7] aktualisiert.

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeine Bestimmungen.....	3
2.	Anlagenbeschreibung	3
3.	Prüfgrundlage	4
4.	Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung.....	5
5.	Gutachtliche Stellungnahmen.....	5
6.	Zusammenfassung.....	7
	Anlage 1:.....	8



Industrie Service

1. Allgemeine Bestimmungen

Die Typenprüfung für die in Abschnitt 2 beschriebene Windenergieanlage besteht aus den unter Abschnitt 4 aufgeführten Prüfberichten sowie diesem Typenprüfbescheid. Grundlage der Typenprüfung sind die in Abschnitt 5 gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen.

Die Typenprüfung bestätigt die Prüfung der Standsicherheit des gelisteten Turmes und der Gründungen.

Dieser Prüfbescheid zur Typenprüfung ersetzt nicht die Bestätigung des Auflagenvollzugs. Er ersetzt keine für die Durchführung von Bauvorhaben erforderlichen Genehmigungen.

Bei Abweichungen von diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung oder den unter Abschnitt 4 und 5 aufgeführten zugehörigen Prüfberichten und Stellungnahmen sowie den darin geprüften Unterlagen und gelisteten Prüfgrundlagen ist die Standsicherheit im Einzelfall nachzuweisen und zu prüfen.

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.

2. Anlagenbeschreibung

Die hier behandelte Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-160 EP5 E3 mit 166,7 m Nabenhöhe besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor mit einer getriebelosen Generatoreinheit.

Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und variabler Rotordrehzahl geregelt.

Umgebungsbedingungen und Daten der Maschine gemäß Herstellerangaben:

	Variante R0	Variante R1
Nennleistung	5,56 MW	
Windzone	S	
Geländekategorie	S	
Erdbebenzone nach DIN 4149	0	
Nabenhöhe	166,7 m	
Rotorblatttyp	LM 78.3 P Gen. B und Gen. C	
Rotordrehzahlbereich (Produktionsbetrieb)	4,4 - 10,98 U/min	4,4 – 11,04 U/min
Rotornenndrehzahl	9,6 U/min	
Nennwindgeschwindigkeit, V_r (1 Sekunden Mittelwert)	12 m/s	
Abschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	28 m/s	
Einschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	2,5 m/s	
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (1 Jahres Mittelwert)	7,5 m/s (für 20 Jahre) 8,5 m/s (für 25 Jahre)	



Industrie Service

Extremer 50-Jahres-Wind, V_{ref} (10 Minuten Mittelwert)	37,5 m/s
Turbulenzkategorie	A (für 20 Jahre) B (für 25 Jahre)
Lebensdauer	20 Jahre bzw. 25 Jahre

Tabelle 1

In der folgenden Tabelle sind die möglichen Turm- und Gründungsvarianten mit den entsprechenden Prüfberichten gelistet:

	Variante R0	Variante R1
Nabenhöhe	166,7 m	
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]	
Fundamente	Flachgründung [2]	
	Tiefgründung [3]	-

Tabelle 2

Detaillierte Beschreibungen der Bauteile Turm und Fundament sind in den zitierten Prüfberichten zu finden.

3. Prüfgrundlage

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Version 2012, korrigierte Fassung März 2015
- /2/ DIN EN IEC 61400-1:2019 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019“
- /3/ EN IEC 61400-1:2019 „Wind turbines – Part 1: Design requirements“
- /4/ “Stellungnahme DIBt / IEC 61400-1 Ed. 4”, erstellt von DKE, vom 31.08.2020

Nach der Anerkennungsnotiz im Vorwort von /2/ entspricht die Norm /2/ inhaltlich /3/. Entsprechend kann in den in Abschnitt 5 gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen gleichwertig /2/ oder /3/ als Prüfgrundlage verwendet werden.

In der DIBt-Richtlinie /1/ sind die älteren Versionen von /2/ aus den Jahren 2004 bzw. 2011 für die Ermittlung der Einwirkungen zugelassen. Mit diesem Prüfbescheid und gemäß Stellungnahme des DKE/AK 383.0.1 /4/ wird bestätigt, dass auch bei Anwendung der neuesten Version der DIN EN IEC 61400-1 in ihrer Gesamtheit das geforderte Sicherheitsniveau der DIBt-Richtlinie /1/ eingehalten wird und somit Konformität mit /1/ besteht.

In den Prüfberichten in Abschnitt 4 und gutachtlichen Stellungnahmen in Abschnitt 5 sind die jeweils zugrunde gelegten Normen und Richtlinien genannt.



Industrie Service

4. Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung

Gegenstand der Typenprüfung ist die Prüfung der Standsicherheitsnachweise sowie die Prüfung der zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den Turm und die zugehörigen Gründungen entsprechend Tabelle 2.

Die im Rahmen der Prüfungen eingereichten Unterlagen sind in den folgenden Prüfberichten aufgelistet.

Die geprüften und mit rundem Prüfstempel versehenen Unterlagen entsprechen den Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/ sowie den in den folgenden Prüfberichten genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Prüfung der Podeste, Besteigeeinrichtungen und Innenausbauten des Turmes ist nicht Bestandteil dieser Typenprüfung.

- [1] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21), Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3, Varianten R0 und R1, 166 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 3, Datum 2023-11-16
- [2] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 R0 (Bögl E21), Varianten R0 und R1, Fundament: Fg Ø = 24,00 m, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten, Dokument Nr. 3443492-20, Rev. 4, Datum 2023-11-16
- [3] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Tiefgründung, Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 R0 (Bögl E21), Fundament: Tg Ø = 23,00 m, Windzone S, 54 Fertigteilrammpfähle 45/45 cm, 54 Ort betonrammpfähle Ø 51 cm, 44 Ort betonrammpfähle Ø 56 cm, 22 Bohrpfähle Ø 100 cm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 9 Seiten, Dokument Nr. 3443492-5-d, Rev. 2, Datum 2023-10-12

In Prüfbericht [3] wird auf Revision 2 des Turmprüfberichtes [1] verwiesen. Die Änderungen in Revision 3 von [1] haben keine Auswirkung auf die Gültigkeit des Prüfberichtes [3]. Somit ist der Prüfbericht [3] auch in Kombination mit der hier zitierten Revision 3 von [1] gültig.

5. Gutachtliche Stellungnahmen

Die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen gemäß /1/ Abs. 3.I und J, K und L wurden im Rahmen dieser Typenprüfung vorgelegt:

- Bestätigung der Schnittgrößen für den Nachweis von Turm und Gründung, Rotorblätter und Maschinenbau (Lastgutachten)
- Nachweis der Sicherheitseinrichtungen (Sicherheitsgutachten)
- Nachweis der Rotorblätter
- Nachweis der maschinenbaulichen Komponenten (Maschinengutachten)
- Nachweis der Verkleidung von Maschinenhaus und Nabe
- Nachweis für die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz
- Bedienungsanleitung
- Inbetriebnahmeprotokoll
- Wartungspflichtenbuch



Industrie Service

5.1. Variante R0

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [4] „Gutachtliche Stellungnahme –Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8119201822-1 D I, Rev. 2, Datum 2022-12-19

Für die weiteren oben genannten Unterlagen gilt die folgende Zusammenstellung der gutachtlichen Stellungnahmen:

- [5] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8119 616 205 D, Rev. 1, Datum 2023-02-07

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I und J, K und L vollständig. Die in den gutachtlichen Stellungnahmen vorgegebenen Werte und Eigenschaften wurden in den Nachweisen von Turm und Gründung berücksichtigt. Die gutachtlichen Stellungnahmen bestätigen die Übereinstimmung mit den in Abschnitt 3 gelisteten Prüfgrundlagen.

5.2. Variante R1

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [6] „Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8120863590-1 D V, Rev. 0, Datum 2023-11-09

Für die weiteren oben genannten Unterlagen gilt die folgende Zusammenstellung der gutachtlichen Stellungnahmen:

- [7] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 R1“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8121951519-100-001-03, Rev. 3, Datum 2024-01-24

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I und J, K und L vollständig. Die in den gutachtlichen Stellungnahmen vorgegebenen Werte und Eigenschaften wurden in den Nachweisen von Turm und Gründung berücksichtigt. Die gutachtlichen Stellungnahmen bestätigen die Übereinstimmung mit den in Abschnitt 3 gelisteten Prüfgrundlagen.



Industrie Service

6. Zusammenfassung

Die eingereichten gutachtlichen Stellungnahmen und Prüfberichte für den Turm und die zugehörigen Gründungen der Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-160 EP5 E3 entsprechen den Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/.

Die Anforderungen an die Standsicherheit des Turmes und der Gründungen sind erfüllt, vorausgesetzt, alle in den Prüfberichten genannten Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen gutachtlichen Stellungnahmen werden beachtet bzw. vollzogen. Eine Übersicht der Auflagen kann Anlage 1 dieses Typenprüfbescheids entnommen werden.

Der Turm und die zugehörigen Gründungen sind mindestens alle 2 Jahre durch einen Sachverständigen für Windenergieanlagen auf den Erhaltungszustand hin zu überprüfen. Wenn von der Herstellerfirma eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird, kann der Zeitraum der Fremdüberwachung auf 4 Jahre verlängert werden. Über die Überprüfung bzw. Überwachung und Wartung ist mindestens alle 2 Jahre ein Bericht zu erstellen.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die eingereichten Unterlagen, insbesondere die Zeichnungen und die Berechnungen für den Turm und die zugehörigen Gründungen, zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter

Handwritten signature of C. Stiglmeier in black ink.

C. Stiglmeier

Der Leiter

Handwritten signature of S. Mayer in black ink.

i.V. S. Mayer



Industrie Service

Anlage 1:

Detaillierter Verweis auf die einzelnen Auflagen der zugrundeliegenden Prüfberichte und Gutachtlichen Stellungnahmen:

[1]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 25
[2]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 10
[3]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 13
[4]	Kapitel 5.4, Schnittstellen, Kapitel 6, Auflagen 6.1 und 6.2
[5]	Alle in den in [5] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Prüfbemerkungen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.
[6]	Kapitel 5.4, Schnittstellen
[7]	Alle in den in [7] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Prüfbemerkungen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 16.11.2023

Prüfnummer: 3443492-1-d Rev. 3

Objekt: Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)
Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3
Varianten R0 und R1
166 m Nabenhöhe
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller Wind-
energieanlage:** ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

**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: ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

Gültig bis: 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:
3443492-1-d Rev.
3_ENERCON_E-160 EP5 E3-
HT-166-ES-C-01

Das Dokument besteht aus
15 Seiten.
Seite 1 von 15

Die auszugsweise Wiedergabe des
Dokumentes und die Verwendung
zu Werbezwecken bedürfen der
schriftlichen Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.10.2021	Erstfassung
1	07.02.2023	Lastvergleich [8] für neue Lasten aus Dokument [11] ergänzt. Neue Revision Dokument [3]. Die Dokumente [1] und [2] sowie [4] bis [7] bleiben weiterhin gültig.
2	19.09.2023	Dokument [24] aktualisiert. Dokument [26] ergänzt. Zeichnungen [A1] bis [A6] und [A9] aktualisiert.
3	16.11.2023	Variante R1 ergänzt. Dokumente [9], [14] und [15] hinzugefügt. Dokumente [1] und [5] aktualisiert.

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	5
3.	Beschreibung	7
3.1.	Maße:.....	7
3.2.	Baustoffe:.....	7
3.3.	Lastannahmen:	8
4.	Prüfumfang	8
5.	Prüfbemerkungen.....	9
6.	Prüfergebnis.....	11
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne	15



Industrie Service

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

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

- [1] "Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. f, Datum 2023-11-07
ENERCON Dokument Nr. D02405544-6
- [2] "Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm E21",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, Datum 2021-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405547-0
- [3] "Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm E21",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2023-01-18
ENERCON Dokument Nr. D02405545-2
- [4] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm E21",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, Datum 2021-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405548-0
- [5] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E21“,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2023-10-13
ENERCON Dokument Nr. D02405546-1
- [6] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Stahlturm“,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, Datum 2021-09-09
ENERCON Dokument Nr. D02405550-1
- [7] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1
- [8] „Lastvergleich / Überprüfung der Turm- und Fundamentstatik aufgrund neuer Lasten „2022-09-14 Lasten R0 GenB-9,6“ für den Max Bögl Hybridturm Turmtyp E21“,
Dokument Nr. D00319105, Rev. 03, Datum 2023-01-18
ENERCON Dokument Nr. D02456069-3
- [9] „Lastvergleich / Überprüfung der Turm- und Fundamentstatik aufgrund neuer Lasten „2022-11-29 Lasten R1“ für den Max Bögl Hybridturm Turmtyp E21“,
Dokument Nr. D00343748, Rev. 0, Datum 2022-12-19
ENERCON Dokument Nr. D02456070-0

1.2. Eingesehene Unterlagen

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

Lasten:

- [10] "Load Report Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with rotor blade LM783P_2P as per DIBt", erstellt von ENERCON GmbH,
Dokument Nr. D02406103-4.0, Rev. 4, Datum 2021-10-01
- [11] "Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH,
Dokument Nr. 8119201822-1 DI, Rev. 1, Datum 2021-10-05



Industrie Service

- [12] "Load report Tower E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01, Envelope of fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P_2P as per DIBt and IEC ed. 4", erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02406103-6.0, Rev. 6, Datum 2022-12-01
- [13] "Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8119201822-1 D I, Rev. 2, Datum 2022-12-19
- [14] "Load report E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01/HT-160-ESC-01 Envelope of fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01/HT-160-ES-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade LM78.3P_2P as per DIBt and IEC ed. 4", erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02772407-1.5, Rev. 1.5, Datum 2023-07-20
- [15] "Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8120863590-1 D V, Rev. 0, Datum 2023-11-09

Betonturm:

- [16] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [17] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. h, Datum 2021-02-02
- [18] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 1, Datum 2020-07-02
- [19] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 16.04.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [20] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [21] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [22] European Technical Assessment „SUSPA – Wire EX, External post-tensioning kit for prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom Österreichischen Institut für Bautechnik, Dokument Nr. ETA-07/0186, vom 16.11.2020
- [23] European Technical Assessment „Wire EX Wind, External post-tensioning kit for prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom Österreichischen Institut für Bautechnik, Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020



Industrie Service

- [24] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [25] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [26] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spannglied-verankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Dokument Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [27] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118409048-6 D, Rev. 2, vom 2022-03-22
- [28] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15
- [29] Gutachten „Modell für die Ermüdungsbemessung hochfester Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, keine Dokument Nr., vom 08.10.2020

Stahlurm:

- [30] Zeichnung „Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“, erstellt von ENERCON GmbH, Zeichnung Nr. D02133917/0.1-de/en, Revision -, Datum 2021-02-05
- [31] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlurmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [32] „Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Stahlrohrturm Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 1, Datum 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



Industrie Service

- /3/ DIN EN 1991-1-4:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-4/NA:2010
- /4/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009“ + DIN EN 1993-1-1/A1:2014, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015
- /6/ DIN EN 1993-1-6:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010
- /7/ DIN EN 1993-1-8:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010
- /8/ DIN EN 1993-1-9:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-9/NA:2010
- /9/ DIN EN 1993-1-10:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-10/NA:2010
- /10/ DIN EN 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“
- /11/ 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“
- /12/ DAST – Richtlinie 021:2013 „Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“
- /13/ 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“
- /14/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /15/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600: „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012



Industrie Service

3. Beschreibung

Der Turm E21 der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 30 Segmenten und einem einteiligen Adapterring, 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. Die Fuge am Turmfuß wird mit Verguss hergestellt. Die vertikalen Fugen der Teilsegmente werden trocken ohne Verbund ausgeführt. Am oberen Ende der Vertikalfuge befindet sich eine Kontaktfläche zur Übertragung von Druckkräften, oben und unten werden Schraubelemente angeordnet.

Der Betonschaft wird mit externen, im Inneren des Turms liegenden Spanngliedern vorgespannt. Die Spannglieder laufen vom obersten Segment des Betonturms bis zur Verankerung im Fundament, die als Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatte ausgeführt ist.

Die Verbindung zwischen der unteren Stahlsektion und dem obersten Betonelement wird als L-förmige Ringflanschverbindung mit vorgespannten Ankerstäben ausgeführt.

Die Sektionen des Stahlrohraufsatzes sind durch innenliegende Ringflansche mittels vorgespannter Schraubenverbindungen untereinander verbunden. Die einzelnen Teilsegmente sind durch Stumpfnähte miteinander verschweißt.

3.1. Maße:

Nabenhöhe:	166,6 m
Gesamtlänge Turm:	162,45 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	8,728 m
Außendurchmesser Turmkopfflansch:	4,036 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [7] entnommen werden.

3.2. Baustoffe:

Betonfertigteile	C100/115 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24] C90/105 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24] C80/95 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24] Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [24] eingesetzt
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [25]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [19] und [20] in Verbindung mit [22] bzw. [21] in Verbindung mit [23]
Schrauben in vertikaler Fuge M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014	

Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /11/ M42-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /12/
Gewindebolzen (Adapter)	M56-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /13/
Ankerring (Adapter)	S355J2 gemäß DIN EN 10025
Lastverteilplatte (Adapter)	S355J2 gemäß DIN EN 10025

3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Prüfung des Turms der oben genannten Windenergieanlage sind in [10] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [11] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Grundlage der Berechnung war Rev. 0 von [10]. In [11] wird aufgezeigt, dass keine Änderungen der ULS Lasten und Markov Matrizen zwischen Rev. 0 und 4.0 vorhanden sind. Daher ist die Bemessung des Turmes auf Basis der Lasten aus Rev. 0 auch für die Lasten in [10] gültig.

In Dokument [8] wurde über Lastvergleich gezeigt, dass die Lasten aus Dokument [10] die Lasten für die Variante R0 aus Dokument [12] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [8] durch weitere Berechnungen bewertet. Dokument [12] wurde mit der gutachtlichen Stellungnahme [13] bestätigt.

In Dokument [9] wurde über Lastvergleich gezeigt, dass die Lasten aus Dokument [12] die Lasten für die Variante R1 aus Dokument [14] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [9] durch weitere Berechnungen bewertet. Dokument [14] wurde mit der gutachtlichen Stellungnahme [15] bestätigt.

Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt gemäß [11], [13] und [15] abhängig von den Umgebungsbedingungen 20 Jahre ($I_{ref} = 0,16$ und $V_{ave} = 7,5$ m/s) oder 25 Jahre ($I_{ref} = 0,14$ und $V_{ave} = 8,5$ m/s).

Einwirkungen aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.

Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

Turmkopfmasse: 330 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.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

Weitere Prüfungen wie die Überprüfung der Bauausführung, der Standorteignung, des Fundaments, des Blitzschutz-/Erdungskonzepts und der Turmeinbauten sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lasten, Randbedingungen, Ausführung und Anlagensteuerung, die Einfluss auf die Standsicherheit haben, sind durch diesen Bericht nicht abgedeckt und erfordern eine Überarbeitung der Berechnung und eine erneute Prüfung.



Es wird davon ausgegangen, dass Hersteller und Betreiber ihren Verpflichtungen zur Gewährleistung des sicheren Betriebes der Anlage nachkommen und über im Betrieb festgestellte, auslegungsrelevante Auffälligkeiten wie z.B. Schwingungsphänomene berichten und gegebenenfalls veranlassen, dass entsprechende Untersuchungen durchgeführt und neue Berechnungen zur Prüfung vorgelegt werden.

5. Prüfbemerkungen

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft. Auf Basis der eingereichten Unterlagen und unserer Vergleichsrechnungen können ausreichende Sicherheiten bestätigt werden. Die Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnungen sowie den Vorgaben der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

Schnittstellen:

Die Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich, des Radius und der Schraubverbindung zur Maschine sind nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes und ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen, siehe Auflage 13. Der Flansch ist in Zeichnung [30] dargestellt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung im Fundament wurden in Dokument [26] geführt und mit [27] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [26] für den vorliegenden Turm gültig sind.

Für die Bemessung eines Fundaments sind die Angaben in [3] zu Grunde zu legen.

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

Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [11] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,168 Hz bis 0,197 Hz). Auch der in Lastgutachten [13] und [15] angegebene Gültigkeitsbereich (0,165 Hz bis 0,192 Hz) ist eingehalten. Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$ betragen.

Die Eigenfrequenz liegt im Bereich der möglichen Erregerfrequenzen der Anlage. Daher ist eine betriebliche Schwingungsüberwachung vorzusehen, die mit dem Betriebs- und Sicherheitssystem der Anlage verbunden ist, siehe Auflage 2.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [10], [12] und [14] enthalten lediglich Effekte aus Theorie II. Ordnung. Zusätzliche Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m, sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von $k_{\varphi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$ wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von /1/ wurden für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. In Dokument [16] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [16] und der rechnerischen Berücksichtigung der einseitigen Sonneneinstrahlung in [1] kann diese Abweichung akzeptiert werden.

Bauzustände, Querschwingungen:

Die Standsicherheit des Turms vor dem Vorspannen der Spannglieder wurde in [5] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [5] geführt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit	
Betonturm ohne Vorspannung	-	-
Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	1 Jahr	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 18,68 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	60 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 13,26 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion	6 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 10,97 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	6 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 7,85 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor	183 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 3,93 m/s nicht überschreiten
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	456 Tage über die Lebensdauer	

Kerbfallklassen:

Für die Berechnung des Turms in [6] wurden für die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) die Kerbfallklassen gemäß [31] und [32] angesetzt. Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfallklassen sind auf der Turmzeichnung [7] ([A9]) definiert und werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [6] für eine Bezugstemperatur $T = -30^{\circ}\text{C}$ durchgeführt.

Ermüdung:

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter der Betonfertigteilstücke zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 28 Tagen und das Alter des Adapters mit 40 Tagen angesetzt.



Industrie Service

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für hochfeste Betone gemäß [24] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [25] angesetzt.

Betondeckung

In Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, NDP zu 4.4.1.3 (3) wurde das Vorhaltemaß der Betondeckung um 5 mm abgemindert.

Teilsicherheitsbeiwert Betonfestigkeit

Für die Nachweise der Betonfertigteile wurde in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, Abschnitt A.2.3 ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{c, red} = 1,35$ angesetzt.

Ausführungsvarianten:

Es werden die Anlagenvariante R0 mit den Lasten gemäß [12] sowie die Anlagenvariante R1 mit den Lasten gemäß [14] über diesen Prüfbericht zur Typenprüfung abgedeckt. Für beide Anlagenvarianten sind die gleichen Ausführungspläne gemäß [7] gültig.

Bezüglich der Ankerschrauben im Adapterelement sind 2 Varianten möglich:

- a) Mit Decordynbeschichtung gemäß [A7]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A8]

Das angegebene Vorspannsystem Suspa Draht EX kann entweder nach ETA [22] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [20] oder alternativ nach ETA [23] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [21] angewandt werden. Beide Systeme sind technisch gleichwertig. Die Anwendungszulassungen für das Spannsystem gelten jeweils in Verbindung mit der allgemeinen Bauartgenehmigung [19].

Änderungen Einbauteile:

Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten im Betonteil haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Turmes.

Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichtes:

Der Lastvergleich [9] für die Variante R1 wurde aufgenommen.

In Dokument [5] wurde der Zeitraum für den vollständig errichteten Turm mit Gondel und ohne Rotor gemäß den Angaben in Abschnitt 5 verlängert.

In der neuen Revision der Turmstatik [1] wurde der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für Fertigteilelemente mit einem Versprödungsfaktor von 0,9 gemäß abZ [24] angesetzt. Auflage 18 aus der vorherigen Revision dieses Prüfberichts entfällt.

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.



Industrie Service

Der Turm der Windenergieanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [10], [12] und [14] geeignet.

Die Prüfung der technischen Unterlagen für den Turm ist hiermit abgeschlossen.

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [10], [12] und [14] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
2. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss, auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen in [10], [12] und [14] zu begrenzen.
3. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
4. Es ist für jede Anlage sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten wird.
5. Bauzustände und Stillstandszeiten der Anlage sind gemäß den Angaben in Abschnitt 5 zeitlich zu beschränken. Falls die zulässigen Zeiten überschritten werden oder die Gondel zu einem späteren Zeitpunkt vom Turm genommen wird, so sind geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.

Stahlsektionen

6. Der Korrosionsschutz der Turmaußenseite (Turminnenseite) ist für eine Korrosivitätskategorie C4 (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Industrienähe mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre oder Meeresnähe mit hoher Salzbelastung ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie C5 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 auf der Zeichnung [7] [A9] angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
11. Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches dürfen keine zusätzlichen Teile angeschweißt werden.
12. Beim Anschweißen der Flansche an die Turmwand ist fachgerecht vorzuwärmen.



Industrie Service

13. Die Prüfung der Schweißverbindung im Einflussbereich des Turmkopfflansches, seines Radius und der Schraubverbindung (Turm zur Maschine) sind in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

Betonteil

14. 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.
15. 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.
16. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [19] bis [23] sowie für die Hochfestbetone [24] und geschweißten Bewehrungselemente [25] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
17. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version aller zitierten Zulassungen [19] bis [25] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
18. Die erforderliche Mindestfestigkeit des Vergussmörtels von $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ zum Zeitpunkt des Vorspannens des Betonturms ist fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
19. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [2] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
20. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Es ist bei beiden Vorspannstufen eine Qualitätskontrolle des Anziehvorgangs nach DIN EN 1090-2 /10/, 12.5.2 durchzuführen, um eine stichprobenartige Überprüfung des erzielten Vorspanniveaus sicherzustellen.
21. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung muss der Adapter mindestens 40 Tage alt sein.
22. Der rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons im Adapter zwischen 45.000 N/mm^2 und 53.000 N/mm^2 ist sicherzustellen.

Prüfintervalle

23. 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. Wenn die 2. Vorspannstufe innerhalb dieses Zeitraums aufgebracht wird, kann die zuvor genannte Prüfung hierdurch ersetzt werden.
24. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß der DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.



Industrie Service

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die Zeichnungen und die Berechnungen zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Reuter'.

C. Reuter

Der Leiter

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Mayer'.

i.V. S. Mayer

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E21-001-XX-X-Uebersicht	D02405551-6	f	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 166,6 m, Spannglieds „SUSPA“	2023-05-24
[A2]	DE-E21-095-XX-X-Schalplan	D02405558-1	a	Schalplan Rohteile C-Ringe	2023-01-12
[A3]	DE-E21-096-XX-X-Bewehrung	D02405559-3	c	Bewehrungsplan Rohteile C-Ringe (3-teilig)	2023-01-12
[A4]	DE-E21-AE1-K1-X-Bewehrung	D02405560-3	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-07-18
[A5]	DE-E21-AE1-K1-X-Schalplan	D02405561-3	c	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-05-25
[A6]	DE-E21-M008 Montageplan	D02405562-1	a	Fugendetailplan	2023-01-13
[A7]	XX-XXX-M56-HV-1-Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0150831	2021-01-25
[A8]	XX-XXX-M56-HV-2-Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0150831	2021-01-25

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A9]	DE-E21-022-XX-X-Uebersicht	D02405556-3	c	Übersichtsplan Stahlturm 166m NH	2023-01-12



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 16.11.2023

Prüfnummer: 3443492-20-d Rev. 4

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)
Varianten R0 und R1
Fundament: Fg Ø = 24,00 m
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller Wind-
energieanlage:** ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

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

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Geltungsdauer: bis 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/BOB

Dokument:
3443492-20-d
Rev.4_Enercon_E-160_EP5_E3-
HT-166-ES_FGmA_24m.docx

Das Dokument besteht aus
8 Seiten.
Seite 1 von 8

Die auszugsweise Wiedergabe des
Dokumentes und die Verwendung
zu Werbezwecken bedürfen der
schriftlichen Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.

Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
USt-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter www.tuvsud.com/impressum

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

Telefon: +49 89 5791-3146
Telefax: +49 89 5791-2956
www.tuvsud.com/de-is

TÜV®

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



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.10.2021	Erstfassung
1	13.12.2021	Neue Rev. Dokumente [10] und [11]
2	07.02.2023	Neue Dokumente [7], [8] und [14]. Neue Revision der Dokumente [15] und [16]. Dokumente [1] bis [4] bleiben weiterhin gültig.
3	12.10.2023	Prüfnummer angepasst (-d), Anlagenbezeichnung R0 ergänzt, Dokumente [2] bis [4], [11], [12] und [15] aktualisiert. Redaktionelle Anpassungen.
4	16.11.2023	Variante R1 ergänzt. Dokumente [5], [6] und [7] hinzugefügt. Dokumente [6] bis [8] und [14] aus Rev. 3 entfernt. Neue Revisionen Dokument [13]. Redaktionelle Änderungen.

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	4
3.	Beschreibung	5
3.1.	Baustoffe.....	5
3.2.	Lastannahmen	5
3.3.	Baugrund	5
4.	Prüfumfang	6
5.	Prüfbemerkungen.....	6
6.	Prüfergebnis.....	7
	Auflagen für Herstellung und Errichtung	7



1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Fundament mit Teilauftrieb D = 24,0 m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, vom 2021-10-04
ENERCON Dokument Nr. D02405549-1
- [2] „Fundamentdatenblatt Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 E21, Bauteil: Fundament mit Teilauftrieb“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. d, Datum 2023-07-24
ENERCON Dokument Nr. D02397376-4

Variante R0:

- [3] „Schalplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_005_XX_X, Rev. e, Datum 2023-02-16
ENERCON Dokument Nr. D02405554-5
- [4] „Bewehrungsplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_006_XX_X, Rev. d, Datum 2023-02-16
ENERCON Dokument Nr. D02405555-4

Variante R1:

- [5] „Schalplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_005_XX_X, Rev. f, Datum 2023-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405554-6
- [6] „Bewehrungsplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_006_XX_X, Rev. g, Datum 2023-10-30
ENERCON Dokument Nr. D02405555-7

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [7] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, vom 2021-10-06
ENERCON Dokument Nr. D02405545-1
- [8] „Spanngliedverankerung 3.0 im Fundament 2.0 (mit 2 Ankerstangen)“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. M578_a, Rev. a, Datum 2021-04-07
- [9] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [10] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0. – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 2, Datum 2022-03-22



Industrie Service

- [11] „Übersichtsplan Gesamtturm NH=166,6m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E21_001_XX_X_Übersicht, Rev. f, Datum 2023-05-24
ENERCON Dokument Nr. D02405551-6
- [12] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2021-10-07
ENERCON Dokument Nr. D02405544-2
- [13] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21), Windenergieanlage Enercon E-160 EP5 E3, Varianten R0 und R1, 166 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,
Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 3, Datum 2023-11-16
- [14] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, vom 2023-01-18
ENERCON Dokument Nr. D02405545-2
- [15] „Montageanleitung Ankerkorb mb 3.0“ erstellt von Max Bögl Wind AG,
Dokument Nr. A_958, Rev 2.0, Datum 2021-10-08

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: Einwirkung 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 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
- /4/ DIN EN 1997-1:2009 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010
- /5/ DIN 1054:2010 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ + DIN 1054/A1:2012 and DIN 1054/A2:2015
- /6/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /7/ 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 Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (E21) wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisringförmigen Fundamentplatte mit 24,0 m Außendurchmesser mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

Die Fundamentplatte wird mit Erdreich überschüttet, um die statisch erforderliche Auflast zu erreichen.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können den Schalplänen [3] und [5] entnommen werden.

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsklassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsklassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA EX-84

3.2. Lastannahmen

Die Fundamentauslegung [1] basiert auf den Lasten aus Dokument [7].

Die Lasten in [14] wurden mit dem Turmprüfbericht [13] bestätigt und sind für die R0 und R1-Variante des Fundaments gültig.

Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt abhängig von den Umgebungsbedingungen 20 Jahre ($I_{ref} = 0,16$ und $V_{ave} = 7,5$ m/s) oder 25 Jahre ($I_{ref} = 0,14$ und $V_{ave} = 8,5$ m/s).

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m² berücksichtigt.

Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ berücksichtigt.

3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Fundamentdatenblatt [2] $k_{p,dyn} \geq 200$ GNm/rad und $k_{p,stat} \geq 40$ GNm/rad.

Der anstehende Baugrund muss mindestens eine Bodenpressung gemäß Fundamentdatenblatt [2] aufnehmen können (charakteristischer Wert).

Der höchste für den Lastfall Auftrieb in [1] nachgewiesene Wasserstand liegt 0,501 m über Fundamentunterkante.



4. Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit der in Abschnitt 3 beschriebenen Flachgründung auf Basis der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung von Turm und Fundament erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

Die Überprüfung der Standorteignung sowie des Blitzschutz- und Erdungskonzepts ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lastannahmen, Randbedingungen und Ausführung, die Einfluss auf die Standsicherheit haben, sind durch diesen Bericht nicht abgedeckt und erfordern eine Überarbeitung der Berechnung und deren Prüfung.

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 Nachweise der Lasteinleitung in den Beton unter dem Vergussmörtel des Fundaments und des Betons über den Ankerplatten im Fundament werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in [12] geführt und in [13] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [9] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [10] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [9] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [10] für dieses Fundament gültig ist.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [7] und [14] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [12] für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [13] bestätigt.

Ausführungsvarianten:

Die folgenden Ausführungsvarianten der Flachgründung werden über diesen Prüfbericht zur Typenprüfung abgedeckt:

Anlagen-Variante	Fundamentdatenblatt	Ausführungspläne
R0	[2]	[3] und [4]
R1	[2]	[5] und [6]

Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichtes:

Die Variante R1 sowie die zugehörigen Zeichnungen [5] und [6] wurden aufgenommen. In den Zeichnungen [5] und [6] wurde lediglich der Kabelschacht konstruktiv auf die Anforderungen der Anlagenvariante R1 angepasst.

6. Prüfergebnis

Die Berechnungen und die zugehörigen Konstruktions- und Bewehrungszeichnungen für das Fundament entsprechen den in Abschnitt 2 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Anforderungen an die Standsicherheit der Gründung sind erfüllt, vorausgesetzt, die nachstehenden Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen Prüfberichte und Gutachten werden beachtet bzw. vollzogen.

Die Prüfung der technischen Unterlagen für das Fundament ist hiermit abgeschlossen.

Auflagen für Herstellung und Errichtung

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Ausführung Fundament

5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsklassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.



Industrie Service

6. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
7. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
8. Die in der Berechnung spezifizierte Materialwichte des Fundaments von $23,7 \text{ kN/m}^3$ ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
9. Die in [3] bzw. [5] spezifizierte Trockenwichte der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.

Prüfintervalle:

10. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß 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
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'B. Ober'.

B. Ober

Der Leiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'S. Mayer'.

i.V. S. Mayer