

# **Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen**

## **ENERCON**

**E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01**

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

**Rev. 2**

## Prüfbescheid zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3 u. E-160 EP5 E3 R1,  
Rotorblatt LM 78.3 P, DIBt Windzone S, Geländekategorie S**

**- Hybrid-Stahlurm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 -**

<b>Prüfbescheid Nr.:</b>	T-7004/22-1 Rev. 2
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Standicherheit des Hybrid-Stahlurms E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
<b>Anlagenhersteller (Antragsteller):</b>	ENERCON Global GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	k2 E+C GmbH Ditmar-Koel-Str. 24 20459 Hamburg Deutschland  ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Geltungsdauer bis:</b>	30.11.2027

Dieser Prüfbescheid wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Eine Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Prüfbescheids ist nur nach vorheriger, schriftlicher Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Anlagenherstellers bzw. Antragstellers gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist nicht gestattet.

Der Prüfbescheid umfasst 21 Seiten und 11 Anlagen, die Bestandteil dieses Prüfbescheides sind.

Revision	Datum	Änderungen
0	07.11.2022	Erstausgabe
1	02.06.2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Neue Rev. der Turmstatik [1.1.1].</li> <li>- Nachtragsstatik [1.1.3] ergänzt.</li> <li>- Neue Rev. der Turmzeichnungen [1.1.5] bis [1.1.8].</li> <li>- Neue Rev. des Lastenberichts Maschinenbau [1.2.11], der gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.12], [1.2.14] und [1.2.36], der allgemeinen Bauartgenehmigung [1.2.24], der Spezifikation [1.2.30] sowie der Anlagenbeschreibung [1.2.32].</li> <li>- Redaktionelle Änderungen in der Tabelle 4.1, im Abschnitt 4.2 und in der Schnittstelle 5.4.2.</li> <li>- Das in der Rev. 0 dieses Prüfbescheids enthaltene Gutachten [1.2.19], die Schnittstellen 5.4.4 und 5.4.12 sowie die Auflage 6.2 entfallen.</li> </ul>
2	08.02.2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergänzung der Anlagenkonfiguration E-160 EP5 E3 R1 (Konfiguration Nr. 2).</li> <li>- Die Bauvorlage Fundamentlasten [1.1.4] zählt nicht mehr zu den Anlagen zum Prüfbescheid.</li> <li>- Dazugehörige Dokumente [1.2.3] bis [1.2.6], [1.2.15] bis [1.2.18] und [1.2.33] ergänzt.</li> <li>- Neue Rev. der gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.14] und [1.2.36].</li> <li>- Redaktionelle Änderungen in den Abschnitten 4.2, 4.3, 5.1, 5.2 und 5.3.</li> <li>- Redaktionelle Änderungen in der Schnittstelle 5.4.1 sowie in den Auflagen 6.1 und 6.3.</li> <li>- Ergänzung der Auflage 6.7.</li> </ul>

Hinweis:

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

## Inhaltsverzeichnis

0	Allgemeine Bestimmungen .....	4
1	Dokumente .....	5
	1.1 Geprüfte Dokumente .....	5
	1.2 Dazugehörige Dokumente.....	6
2	Prüfgrundlagen .....	11
3	Einleitung .....	12
	3.1 Beschreibung von Änderungen .....	12
4	Beschreibung .....	13
	4.1 Turm.....	13
	4.2 Lastannahmen .....	14
	4.3 Baustoffe .....	15
5	Prüfung .....	15
	5.1 Methodik.....	15
	5.2 Anmerkungen zur Prüfung .....	17
	5.3 Ergebnisse .....	17
	5.4 Schnittstellen.....	18
6	Auflagen.....	20
7	Zusammenfassung .....	21

## **0 Allgemeine Bestimmungen**

Diese Typenprüfung entbindet die Bauaufsichtsbehörde zwar von der Verpflichtung zur nochmaligen Prüfung in statischer Hinsicht, nicht jedoch von der Verpflichtung zu überwachen, ob die Bauausführung mit diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung und seinen unter 1.1 aufgeführten Anlagen übereinstimmt.

Bei Abweichungen von diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung oder seinen Anlagen ist die Standsicherheit im Einzelfall nachzuweisen und zu prüfen.

Der Prüfbescheid ersetzt nicht die Bestätigung des Auflagenvollzugs. Des Weiteren ersetzt er keine für die Durchführung von Bauvorhaben erforderlichen Genehmigungen.

Dieser Prüfbescheid zur Typenprüfung darf nur vollständig - nicht auszugsweise - und seine Anlagen (siehe 1.1) dürfen nur zusammen mit diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung verwendet oder veröffentlicht werden.

Zur Verlängerung der Geltungsdauer dieses Prüfbescheids zur Typenprüfung ist ein Antrag erforderlich.

Das Recht auf vorzeitigen Widerruf bleibt dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH vorbehalten.

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### **Berechnungen**

- [1.1.1] k2 E+C GmbH:  
„Turmstatik Stahlurm für die ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5-E3-HST-120-FB-C-01“,  
Dokument-Nr.: D0961425, Rev. 4.0, Datum: 09.02.2023
- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
„Certification Report ENERCON Wind Energy Converter Converter E- 160 EP5 E3 HST-120-FB-C-01 Tower transition piece SAP 1020246 Ultimate und Fatigue Strength for loads according to: IEC 61400-1 ed. 4, WC S, Normal and Icing Climate DIBt 2012, WZ S“,  
Dokument-Nr.: D02684121, Rev. 1.0, Datum: 25.05.2022
- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
„Technical Report, Omission of Retightening of Flange Bolts considering 70% of  $F_{p,C}$ “,  
Dokument-Nr.: D02761494, Rev. 0.0, Datum: 09.09.2022
- [1.1.4] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D02337207, Rev. 4.2, Datum: 11.11.2021

#### **Anlagen zum Prüfbescheid zur Typenprüfung**

##### Zeichnungen

- [1.1.5] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Stahlurm - Zusammenfassung“,  
Zeichnungs-Nr.: D0993210, Rev. 5.0, Datum: 09.02.2023
- [1.1.6] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 1“,  
Zeichnungs-Nr.: D0993201, Rev. 3.0, Datum: 09.02.2023
- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 2“,  
Zeichnungs-Nr.: D0993202, Rev. 4.0, Datum: 09.02.2023
- [1.1.8] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 3“,  
Zeichnungs-Nr.: D0993203, Rev. 5.0, Datum: 21.09.2022

- [1.1.9] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 4”,  
Zeichnungs-Nr.: D0993204, Rev. 2.0, Datum: 18.05.2022
- [1.1.10] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 5”,  
Zeichnungs-Nr.: D0993205, Rev. 2.0, Datum: 16.05.2022
- [1.1.11] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 6”,  
Zeichnungs-Nr.: D0993206, Rev. 2.0, Datum: 16.05.2022
- [1.1.12] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 7”,  
Zeichnungs-Nr.: D0993207, Rev. 2.0, Datum: 19.05.2022
- [1.1.13] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Sektion 8”,  
Zeichnungs-Nr.: D0993208, Rev. 1.0, Datum: 12.01.2022
- [1.1.14] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Fundamentkorb”,  
Zeichnungs-Nr.: D0993209, Rev. 1.0, Datum: 12.01.2022

### Spannanweisung

- [1.1.15] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage ENERCON E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Spannanweisung  
Fundamentkorb E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01”,  
Dokument-Nr.: D02630078, Rev. 1.0, Datum: 27.06.2022

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Lastannahmen Konfiguration Nr. 1

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
„Load report Tower E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Envelope of fatigue and  
ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 of the WEC E-160  
EP5 E3 with the rotor blade LM783P\_2P as per DIBt and IEC ed. 4”,  
Dokument-Nr.: D02527437, Rev. 0.2, Datum: 11.02.2022
- [1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P  
NH 119.99 m (E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01) DIBt WZ S, GK S  
- Lastannahmen für Turm und Fundament -”,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D V Rev.1, Datum: 01.11.2022

### Lastannahmen Konfiguration Nr. 2

[1.2.3] ENERCON GmbH:

„Load report Tower E-160 EP5 E3R1-HST-120-FB-C-01 Envelope of fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3R1-HST-120-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade LM78.3P\_2P as per DIBt and IEC ed. 4.“,

Dokument-Nr.: D02772408, Rev. 0.3, Datum: 06.02.2023

[1.2.4] ENERCON GmbH:

„Statement of the Load Simulation Department E-160 EP5 E3R1-HST-120-FB-C-01 tower loads comparison statement“,

Dokument-Nr.: D02785982, Rev. 0.0, Datum: 28.10.2022

[1.2.5] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 119,827 m (E-160 EP5 E3 R1-HST-120-FB-C-01), DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Turm und Fundament -“,

TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D III Rev.0, Datum: 04.05.2023

### Prüfanmerkungen zum Lastvergleich für die Konfiguration Nr. 2

[1.2.6] TÜV NORD CERT GmbH:

„Comment Sheet“,

Dokument-Nr.: CS-812086390-006-002, Rev. 1, Datum: 12.06.2023

### Kopfflansch Konfiguration Nr. 1

[1.2.7] ENERCON GmbH:

„Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“,

Zeichnungs-Nr.: D02133917, Rev. 0.1, Datum: 05.02.2021

[1.2.8] ENERCON GmbH:

„Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange Statics und Fatigue Strength for Loads according to: IEC ed. 4, WC IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ S“,

Dokument-Nr.: D02459007, Rev. 0.5, Datum: 25.08.2021

[1.2.9] ENERCON GmbH:

„Machine Loads E-160 EP5 E3 Fatigue and ultimate loads for the Machine E-160 EP5 E3“,

Dokument-Nr.: D02435821, Rev. 0.0, Datum: 21.07.2021

[1.2.10] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, verschiedene Nabenhöhen und Windzonen - Turmkopfflansch -“,

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119616205-11 D Rev.1, Datum: 29.11.2021



### Lastvergleich Kopfflansch

[1.2.11] ENERCON GmbH:

„Load report Machine E-160 EP5 E3 Covering fatigue and extreme loads for the E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P\_2P as per DIBt und IEC“,  
Dokument-Nr.: D02463290, Rev. 5.1, Datum: 16.11.2022

[1.2.12] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, verschiedene NH DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV Rev.2, Datum: 19.12.2022

[1.2.13] Lagerwey Wind BV:

„Load set comparison EP5 - E-160 E3 - t98m, t99m, t114m, t120m & t166m IIIA WZ S & IIB WZ S 25yr and Hor W40 + W110 25yr“,  
Dokument-Nr.: M00-C2-40-000875-R2, Rev. 2, Datum: 09.08.2022

[1.2.14] TÜV NORD CERT GmbH:

„GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME Windenergieanlagen ENERCON EP5 - Maschinenbauliche Komponenten -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: GS-8119201822-004-001-04, Datum: 27.11.2023

### Kopfflansch Konfiguration Nr. 2

[1.2.15] ENERCON GmbH:

„Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“,  
Zeichnungs-Nr.: D02133917, Rev. 0.1, Datum: 05.02.2021

[1.2.16] ENERCON GmbH:

„Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange Ultimate and Fatigue Strength for Loads according to: IEC ed. 4, WC IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ S“,  
Dokument-Nr.: D02811369, Rev. 1.0, Datum: 18.01.2023

[1.2.17] ENERCON GmbH:

„Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Load Comparison Ultimate and Fatigue Strength for Loads according to: IEC 61400-1 ed. 4, WC IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ2“,  
Dokument-Nr.: D02833193, Rev. 0.2, Datum: 31.01.2023

[1.2.18] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, verschiedene Nabenhöhen und Windzonen - Turmkopfflansch -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8121329336-11 D Rev. 1, Datum: 15.11.2023

### Experimentell ermittelte Wöhlerlinien

[1.2.19] (entfällt)

### Numerisch ermittelte Ermüdungsfestigkeit von vorgespannten Löchern

[1.2.20] k2 E+C GmbH:

„Untersuchung der Öffnungen für die Turmbefeuerng“,  
Dokument-Nr.: D0961428, Rev. 1.0, Datum: 21.07.2022

[1.2.21] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme ENERCON Windenergieanlage, verschiedene  
Plattformen - Bemessungswöhlerlinie von vorgespannten Öffnungen für Flugbe-  
feuerungen -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8120153430-6 D Rev. 0, Datum: 02.09.2022

### Reibkoeffizienten und Setzungen von gleitfesten Schraubverbindungen

[1.2.22] Fraunhofer IGP:

„Ermittlung der Haftreibungszahl beschichteter Oberflächen in Anlehnung an  
EN 1090-2, Anhang G“,  
Dokument-Nr.: D02596625, Rev. 0, Datum: 31.01.2022

[1.2.23] Stranghörer Ingenieure GmbH:

„Untersuchungen zur Erlangung einer aBG für gleitfeste Verbindungen mit  
HRC-Schrauben M27 in Turmbauteilen“,  
Dokument-Nr.: D02733567, Rev. 0.0, Datum: 24.03.2022

### Allgemeine Bauartgenehmigung

[1.2.24] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:

„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-30.6-78; Gegenstand dieses Be-  
scheides: Konstruktionsdetails mit spezifischen Kerbfallkategorien in Stahltür-  
men“, gültig vom 23.02.2023 bis 21.12.2026

### Fundament

[1.2.25] Heinz Lunte GmbH:

„Bauforhaben: Neubau einer Winenergieanlage des Typ E-160 EP5 E3-HST-  
120-FB-C-01 Bauteil: Schalplan Flachgründung Auftrag: 4505 - 21 Blatt-Nr. S01  
Index: a“,  
Zeichnungs-Nr.: D0956286, Rev. 1.0, Datum: 31.03.2022

### Spezifikationen

[1.2.26] ENERCON GmbH:

„Spezifikation Temporäre Teilvorspannung bei Fundamentkörben bzw. Verbin-  
dungsflanschen“,  
Dokument-Nr.: D0193587, Rev. 2, Datum: 07.08.2014

[1.2.27] ENERCON GmbH:

„Spezifikation Abstände zwischen Kerbdetails“,  
Dokument-Nr.: D0985961, Rev. 1.2, Datum: 16.04.2021

[1.2.28] ENERCON GmbH:

„Spezifikation Anbauteile an Turmwänden in Kerbfallklasse 100 für Stahlrohr-  
türme“,  
Dokument-Nr.: D0935173, Rev. 3, Datum: 25.03.2021

[1.2.29] ENERCON GmbH:

„Spezifikation Stumpfnähte bei ENERCON Stahlrohrtürmen“,  
Dokument-Nr.: D0973115, Rev. 2, Datum: 16.04.2021

[1.2.30] ENERCON GmbH:

„Specification, MDV-Preloading of Ring Flange Bolts without Retightening“,  
Dokument-Nr.: D02693123, Rev. 0.2, Datum: 08.09.2022

[1.2.31] ENERCON GmbH:

„Spezifikation Oberflächenbehandlung Stahlurm“,  
Dokument-Nr.: D1005701, Rev. 9, Datum: 05.10.2021

Anlagenbeschreibung Konfiguration Nr. 1

[1.2.32] ENERCON GmbH:

„Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3“,  
Dokument-Nr.: D02225927, Rev. 7.0, Datum: 09.02.2022

Anlagenbeschreibung Konfiguration Nr. 2

[1.2.33] ENERCON GmbH:

„Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 /  
5560 kW“,  
Dokument-Nr.: D02730135, Rev. 2.1, Datum: 23.02.2023

Übersichtszeichnung

[1.2.34] ENERCON GmbH:

„Ansicht Hybrid-Stahlurm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01“,  
Zeichnungs-Nr.: EP5.00.008 - 3, Rev. 3, Datum: 04.05.2022

Prüfung der Auslegungsanforderungen der DIN EN 61400-1:2011-08

[1.2.35] ENERCON GmbH:

„Stellungnahme Verwendbarkeit IEC ed.3 anstatt IEC ed.4 für ENERCON  
WEA“,  
Dokument-Nr.: D02759428, Rev. 0.0, Datum: 06.09.2022

- [1.2.36] TÜV NORD CERT GmbH:  
„GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME Windenergieanlage E-160 EP5 E3 und  
E-160 EP5 E3 R1 IEC 61400-1 Ed. 3“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: GS-8119616205-100-002-02, Datum: 07.02.2024

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:  
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise 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 1991-1-4:2010-12 + DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12:  
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten“
- [2.4] 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“
- [2.5] 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“
- [2.6] DIN EN 1993-1-5:2019-10 + Berichtigung 1:2020-07 +  
DIN EN 1993-1-5/NA:2018-11:  
„Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile“
- [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:2016-04:  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10:  
Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Di-  
ckenrichtung“
- [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] Verein Deutscher Ingenieure:  
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zy-  
lindrische Einschraubenverbindungen“, VDI 2230 Blatt 1, 11.2015
- [2.13] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:  
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterun-  
gen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAfStb Heft 439,  
1994

### **3 Einleitung**

Gegenstand dieses Prüfbescheids ist die Typenprüfung des Hybrid-Stahlturms E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 und des zugehörigen Ankerkorbs, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurden.

#### **3.1 Beschreibung von Änderungen**

Mit der Revision 1 des Prüfbescheids werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Die Turmstatik [1.1.1] liegt in einer neuen Revision vor.
- Bei den beiden Ringflanschverbindungen  $\varnothing 4020$  mm (86,276 m über FOK) und  $\varnothing 4308$  mm (63,076 m über FOK) soll auf das Nachspannen der HV-Schrauben innerhalb des 1. Halbjahres nach der Montage verzichtet werden. Hierzu wurde die Nachtragsstatik [1.1.3] eingereicht, in der die Ermüdungsnachweise der Schrauben mit einer abgeminderten Schraubenvorspannkraft geführt werden (statt 90 nun 70 % der Regelvorspannkraft  $F_{p,c}^*$ ). Die neue Spezifikation [1.2.30] ersetzt die in der Rev. 0 dieses Prüfbescheids aufgeführte „Spezifikation Verschrauben von Ringflanschen“ (Dokument-Nr. D0215476). Ferner kann nun die Schnittstelle 5.4.12 entfallen.
- Die Turmzeichnungen [1.1.5] bis [1.1.8] liegen in einer neuen Revision vor.
- Der Lastenbericht Maschinenbau [1.2.11], die gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.12], [1.2.14] und [1.2.36], die allgemeine Bauartgenehmigung [1.2.24] sowie die Anlagenbeschreibung [1.2.32] liegen ebenfalls in einer neuen Revision vor.
- Die im Ermüdungsnachweis der Turmwand angesetzten Kerbfälle sind nun durch die aktualisierte, allgemeine Bauartgenehmigung [1.2.24] abgedeckt. Somit ist die Betriebsdauer der Windenergieanlage nicht mehr auf 10 Jahre zu begrenzen. Das Gutachten [1.2.19], die Schnittstelle 5.4.4 und die Auflage 6.2 können somit entfallen.

- Redaktionelle Änderungen in der Tabelle 4.1, im Abschnitt 4.2 und in der Schnittstelle 5.4.2.

Mit der Revision 2 des Prüfbescheids werden die folgenden Änderungen berücksichtigt:

- Berücksichtigung der neuen Anlagenkonfiguration Nr. 2 (siehe Tabellen 4.1 und 4.2).
- Die neuen Auslegungslasten hierzu [1.2.3] wurden in dem hierzu eingereichten Lastvergleich [1.2.4] den ursprünglichen Auslegungslasten gegenübergestellt und in [1.2.5] bestätigt.
- Für die Anlagenkonfiguration Nr. 2 wurden außerdem die folgenden Dokumente ergänzt:
  - Prüfanmerkungen zum Lastvergleich [1.2.6]
  - Zeichnung [1.2.15] sowie Nachweise des Kopfflansches [1.2.16] und [1.2.17], geprüft in [1.2.18]
  - Anlagenbeschreibung [1.2.33]
- Die Bauvorlage Fundamentlasten [1.1.4] zählt nicht mehr zu den Anlagen zum Prüfbescheid.
- Die gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.14] und [1.2.36] liegen in einer neuen Revision vor.
- Redaktionelle Änderungen in den Abschnitten 4.2, 4.3, 5.1, 5.2 und 5.3.
- Redaktionelle Änderungen in der Schnittstelle 5.4.1 sowie in den Auflagen 6.1 und 6.3.
- Ergänzung der Auflage 6.7.

## **4 Beschreibung**

### **4.1 Turm**

Der Turm hat eine Höhe von 115,176 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch). Er besteht aus drei annähernd zylindrischen Sektionen, einer konischen Sektion, drei polygonalen Sektionen und einer kurzen unteren Sektion, die in einem T-Flansch endet. Bei den zylindrischen Sektionen handelt es sich um werksseitig geschweißte Stahlblechkonstruktionen. Die Sektionen werden mittels vorgespannter, innenliegender L-Ringflanschverbindungen auf der Baustelle zusammengeschaubt.

Die polygonalen Sektionen bestehen aus mehreren gekanteten Blechen, die mit axial verlaufenden Verbindungsblechen verschraubt werden. Benachbarte Polygonsektionen werden über horizontal angeordnete, zweischnittige Verbindungsbleche miteinander verschraubt. Die untere Sektion besteht aus mehreren Teilen, die durch Überlappungsbleche verbunden sind.

Der Turmanschluss an das Fundament erfolgt durch den unteren T-Flansch mit 2 x 96 vorgespannten Ankerbolzen M36 - 10.9.

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

Die folgenden Anlagenkonfigurationen wurden bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Gelände-kategorie	Turmnachweise
1	E-160 EP5 E3	5560 kW	LM 78.3 P	WZ S	GK S	[1.1.1] - [1.1.3]
2	E-160 EP5 E3 R1	5560 kW	LM 78.3 P	WZ S	GK S	Lastvergleich [1.2.4]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfigurationen für Turmnachweise

Die betrachtete Windenergieanlage hat folgende technische Basisdaten:

Nabenhöhe:	119,99 m
Gondelmasse (inkl. Rotor):	330,1 t
Rotordurchmesser:	160,0 m

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

$$f_0 = 0,176 \text{ Hz bei elastischer Einspannung (} k_{\varphi, \text{dyn}} = 100\,000 \text{ MNm/rad)}$$

$$f_0 = 0,183 \text{ Hz bei starrer Einspannung}$$

## 4.2 Lastannahmen

Die Lastannahmen wurden mit einem gesamtdynamischen Modell der Anlage unter Berücksichtigung der Elastizität von Turm und Rotorblättern bestimmt.

Die folgenden Lastannahmen liegen der Turmberechnung zugrunde:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Gelände-kategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-160 EP5 E3	119,99 m	5560 kW	LM 78.3 P	WZ S	GK S	[1.2.1]	[1.2.2]
2	E-160 EP5 E3 R1	119,99 m	5560 kW	LM 78.3 P	WZ S	GK S	[1.2.3]	[1.2.5]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Lastannahmen sind für die in [1.2.1] (Konfiguration Nr. 1) bzw. [1.2.3] (Konfiguration Nr. 2) angegebenen Turmeigenfrequenzen mit einem zulässigen Intervall von  $\pm 5\%$  gültig.

Das in der Lastberechnung für die Konfiguration Nr. 1 verwendete Modell hat eine ungekoppelte erste Eigenfrequenz von 0,177 Hz (Schwingungen in Schubrichtungen, elastische Einspannung). Bei der Konfiguration Nr. 2 beträgt die ungekoppelte erste Eigenfrequenz 0,180 Hz.

Die Auslegungslebensdauer beträgt 20 bzw. 25 Jahre (je nach Windbedingungen, siehe [1.2.2] bzw. [1.2.5]).

### 4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Anlagen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. der Zeichnung [1.2.7] (Turmkopfflansch) entnommen werden.

#### Turm

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

Darüber hinaus basiert die Auslegung des Turms auf folgenden Annahmen:

Die Ringflansche werden nahtlos geschmiedet. Für die Ringflansche werden in [1.1.1] und [1.2.8] bzw. [1.2.16] die folgenden Streckgrenzen angenommen:

- Kopfflansch (Konfiguration Nr. 1):  $R_{eH} = 265 \text{ MPa}$
- Kopfflansch (Konfiguration Nr. 2):  $R_{eH} = 275 \text{ MPa}$
- übrige L-Flansche:  $R_{eH} = 295 \text{ MPa}$

#### Ankerkorb

Baustahl:	S235	DIN EN 10025-2
Ankerbolzen:	Festigkeitsklasse 10.9	DIN EN ISO 898-1
Gewinde, Muttern und Unterlegscheiben:	M36	DIN EN 1993-1-8, Bezugsnormengruppe 4
Fundamentbeton:	C35/45	DIN EN 206-1, DIN 1045-2

## 5 Prüfung

### 5.1 Methodik

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

Für den Nachweis der Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 (Konfiguration Nr. 2) wurde der Lastvergleich [1.2.4] eingereicht, in welchem die neuen Extrem- und Ermüdungslasten [1.2.3], geprüft in [1.2.5], den ursprünglichen Auslegungslasten [1.2.1] gegenübergestellt wurden.



Der Turm und die Windenergieanlage wurden zunächst mit Einwirkungen nach DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019-12 ausgelegt und geprüft. Gemäß der gutachtlichen Stellungnahme [1.2.36] kann für die dort unter [1.2] aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen sowie die dazugehörige Prüfung von Turm und Gründung die Erfüllung der technischen Auslegungsanforderungen der DIN EN 61400-1 Ed. 3 [2.2] ebenfalls bestätigt werden.

Die Prüfung umfasst den Hybrid-Stahlurm, den Ankerkorb, die Spannkraftverluste der Ankerbolzen und den mit den Stahlteilen in Verbindung stehenden Beton. Die Turmkopfflanschbaugruppe (Kopfflansch und Schrauben der Flanschverbindung zwischen dem Turmkopf und der Turbine) wurde separat in [1.2.10] bzw. in [1.2.18] geprüft.

Wirbelerregte Querschwingungen wurden gemäß DIBt-Richtlinie, Abschnitt 9.4, für den betriebsbereiten Endzustand und für verschiedene Montagezustände berücksichtigt. Weitere Montagezustände sowie Zustände während des Transports sind nicht Bestandteil der Prüfung.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden in [1.1.1] für die Konfiguration Nr. 1 berücksichtigt. Die Berechnung für Erdbebenzone 3, Untergrundverhältnisse A-R bis C-S, deckt alle Erdbebenzonen und Untergrundverhältnisse Deutschlands gemäß DIN EN 1998-1/NA ab. Falls bei der Konfiguration Nr. 2 Erdbebenlasten zu berücksichtigen sind, sind diese standortspezifisch zu ermitteln und mit den entsprechenden Betriebslasten in [1.2.3] zu überlagern.

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

Der Abstand zwischen dem Turm und den ausgelenkten Rotorblättern wurde in [1.2.2] und in [1.2.5] geprüft.

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

Lageplan und Baugrundgutachten (s. [2.1], Kapitel 3, Buchstaben B und H) sind nicht Bestandteil der Prüfung, Transportzustände ebenfalls nicht.

Die angesetzten Lasten aus der Windturbine werden in den gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.2], [1.2.5], [1.2.12] und [1.2.36] bestätigt.

Die Bewertung des Sicherheitssystems und der Handbücher, des Rotorblatts, der maschinenbaulichen Komponenten, der Maschinenhausverkleidung sowie der elektrischen Komponenten und des Blitzschutzes erfolgt in den in [1.2.36] unter [1.2] aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen für die Windenergieanlagen E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1.

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

## 5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Für die Bemessung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) berücksichtigt.

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

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten, Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung und ungleichmäßiger Fundamentsetzung wurde eine Schiefstellung der Turmachse von 8 mm/m angenommen.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder  $k_{\phi,stat} = 12\,500$  MNm/rad wurde ebenfalls berücksichtigt.

Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen bei wartungsbedingten Stillstandszeiten (Turm inklusive Gondel und Rotor) wurde für einen Zeitraum von 1,25 Jahren berücksichtigt.

Der Nachweis der gleitfesten Schraubverbindungen berücksichtigt 90 % der nominalen Vorspannung der HRC- Schrauben. Diese Annahme wird in [1.2.23] bestätigt.

Der Haftreibungskoeffizient  $\mu = 0,52$  für thermisch gespritztes Aluminium mit Ethylzinksilikat-Versiegelung wird in [1.2.22] experimentell bestätigt.

Der Kopfflansch für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 einschließlich der Schweißnahtverbindung mit dem Turm wurde mittels der FE-Berechnung in [1.2.8] und des Lastvergleichs in [1.2.13] nachgewiesen. Die FE-Berechnung wurde in [1.2.10] und der Lastvergleich in [1.2.14] geprüft. Für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 erfolgte der Nachweis in [1.2.16] und [1.2.17], die Prüfung in [1.2.18].

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

## 5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

Der Lastvergleich [1.2.13] zeigt keine Lastüberschreitungen.

Der Lastvergleich [1.2.4] wurde in [1.2.5] zunächst ohne die Bewertung von Lastüberschreitungen geprüft. Bei der Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 (Konfiguration Nr. 2) treten im Vergleich mit den ursprünglichen Auslegungslasten des Turms lediglich bei den Betriebslasten Überschreitungen auf, welche mit Erdbebenlasten zu überlagern sind (s. Prüfanmerkungen [1.2.6]).

## 5.4 Schnittstellen

### Maschinenbauliche Komponenten

5.4.1 Die in den gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.10] und [1.2.18] aufgeführten Schnittstellen wurden berücksichtigt und sind erfüllt.

### Einbauten

5.4.2 Für den Ermüdungsnachweis der Turmwand wurden die Kerbfallklassen 112, 100 und 71 nach [1.2.20] und [1.2.24] gemäß DIN EN 1993-1-9 berücksichtigt.

5.4.3 Schweißnähte an Buchsen mit einem Außendurchmesser  $\leq 45$  mm, wie in [1.2.28] definiert, die für Einbauten verwendet werden sowie die umlaufenden Stumpfnähte der Turmschale wurden mit der Kerbfallklasse 100 geprüft. Die Anwendbarkeit dieser Kerbfallklasse bei einer spezifischen Schweißnahtvorbereitung bzw. -nachbehandlung wurde in [1.2.24] bewertet. Für die Durchführung der Schweißarbeiten sind die Anforderungen der allgemeinen Bauartgenehmigung [1.2.24] einzuhalten.

5.4.4 (entfällt)

### Fundament

5.4.5 Die Anforderungen an das Fundament sind in [1.1.4], die Anforderungen an die geometrischen Abmessungen und das Vorspannen der Ankerstangen in [1.1.15] spezifiziert. Das in [1.1.4] definierte Kollektiv für  $\Delta MXY$  deckt die Einwirkung, die sich sowohl aus den in Querrichtung wirkenden als auch aus Querschwingungen resultierenden Lasten zusammensetzt, ab.

5.4.6 Um die Funktionsfähigkeit der Anlage nicht zu beeinträchtigen, darf durch Setzungsunterschiede eine Fundamentneigung (Schiefstellung der Turmachse) von 3 mm/m innerhalb der Auslegungsdauer nicht überschritten werden.

5.4.7 Der Nachweis des T-Flansches am Turmfuß basiert auf den Annahmen in [1.1.14], [1.1.15] und [1.2.25].

### Montage & Inbetriebnahme

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

Turm mit Gondel, Generator und Nabe:	24 Tage
Turm mit Gondel, Generator:	24 Tage
Turm mit Gondel:	21 Tage
Turm ohne Gondel und Rotor:	12 Tage

5.4.9 Falls die unter 5.4.8 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 mit Gondel, Generator und Nabe:	3,6 m/s
Turm mit Gondel und Generator:	3,9 m/s
Turm mit Gondel:	5,4 m/s
Turm ohne Gondel und Rotor:	8,5 m/s
Turm ohne die oberste Sektion:	15,2 m/s
Turm ohne die oberen zwei Sektionen:	25,8 m/s
Turm ohne die oberen drei Sektionen:	47,4 m/s

Bei Bauzuständen, die oben nicht aufgeführt sind, gibt es keine Einschränkungen in Bezug auf die Windgeschwindigkeit.

5.4.10 Die in [1.1.15] definierten Anforderungen an das Vorspannen der Ankerstangen sind einzuhalten.

5.4.11 Die Vorspannkraft der Ankerbolzen darf erst aufgebracht werden, wenn der Beton seine Nenndruckfestigkeit erreicht hat.

#### Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

5.4.12 (entfällt)

5.4.13 Der Korrosionsschutz ist regelmäßig zu überprüfen und bei Bedarf zu erneuern.

5.4.14 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

5.4.15 Etwaige Schäden an den in Betrieb genommenen Windenergieanlagen, wie z.B. unzulässige Risse, und daraus abgeleitete Reparatur- bzw. Sanierungsmaßnahmen sind dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen.

#### Weiterbetrieb

5.4.16 Ist nach Ablauf der Auslegungslbensdauer ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage geplant, so ist hierzu Kapitel 17 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

## **6 Auflagen**

### Allgemeines

- 6.1 Für jeden geplanten WEA-Standort ist ein Nachweis der Standorteignung gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Abschnitt 16.2 vorzulegen, dem die in [1.2.2] bzw. in [1.2.5] aufgeführten Auslegungsparameter für die Windzone S zu Grunde liegen.
- 6.2 (entfällt)
- 6.3 Die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen (s. [1.2.2], [1.2.5], [1.2.10], [1.2.12], [1.2.14], [1.2.18], [1.2.21] und [1.2.36]) sind zu beachten. Die gutachtlichen Stellungnahmen sind zur Bauakte zu nehmen.
- 6.4 Der Anlagenhersteller hat mittels Erklärung zu bescheinigen, dass die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen erfüllt sind und dass die Windenergieanlage gemäß den geprüften Anlagen in dem Prüfbescheid zur Typenprüfung errichtet worden ist. Diese Herstellererklärung ist der Bauaufsichtsbehörde vorzulegen und zur Bauakte zu nehmen.
- 6.5 Alle Bescheinigungen und Protokolle sind vom Betreiber aufzubewahren und müssen auf Verlangen der zuständigen Baubehörde vorgelegt werden.
- 6.6 Die Anforderungen der in dem jeweiligen Bundesland geltenden Landesbauordnung sind zu beachten.
- 6.7 Falls bei der Konfiguration Nr. 2 Erdbebenlasten zu berücksichtigen sind, sind diese standortspezifisch zu ermitteln und mit den entsprechenden Betriebslasten in [1.2.3] zu überlagern.

### Stahlteil

- 6.8 Für die Ausführung der Stahlsektionen gilt DIN EN 1090. Als Mindestanforderung für Windenergieanlagen gilt die Ausführungsklasse EXC3.
- 6.9 Die Spezifikationen [1.2.26] bis [1.2.31] sowie die Spannanweisung [1.1.15] sind ist zu beachten.
- 6.10 Die Streckgrenze des für die Flansche verwendeten Materials muss mindestens den in Kapitel 4.3 genannten Werten entsprechen.
- 6.11 Die in der allgemeinen Bauartgenehmigung [1.2.24] aufgeführten Anforderungen an die Fertigung sind zu erfüllen.

## 7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllen der hier geprüfte Hybrid-Stahlurm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 und der zugehörige Ankerkorb die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

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

Die in diesem Prüfbescheid aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen sind hinsichtlich der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I, vollständig und können für diese Windenergieanlagen verwendet werden.

Alle relevanten Schnittstellen (Maschine/Turm) wurden überprüft.

Statisch relevante, konstruktive Änderungen am Turm oder am Ankerkorb sind dem Prüfamt für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen und einer Bewertung zu unterziehen. Ansonsten verliert dieser Prüfbescheid seine Gültigkeit.

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause



An der Prüfung beteiligt:

Dr.-Ing. T. Rutkowski

M.Eng. C. Gröning

## **Prüfbescheid zur Typenprüfung**

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, Rotorblatt LM 78.3 P,  
Hybrid-Stahlurm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01,  
DIBt Windzone S, Geländekategorie S**

**- Flachgründung, D=22,40 m -**

<b>Prüfbescheid Nr.:</b>	T-7004/22-4 Rev. 0
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Standicherheit der Flachgründung für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
<b>Anlagenhersteller (Antragsteller):</b>	ENERCON Global GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Geltungsdauer bis:</b>	30.11.2027

Dieser Prüfbescheid wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Eine Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Prüfbescheids ist nur nach vorheriger, schriftlicher Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Anlagenherstellers bzw. Antragstellers gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist nicht gestattet. Dieser Prüfbescheid gilt nur zusammen mit dem Prüfbescheid zur Typenprüfung [1.2.1].

Der Prüfbescheid umfasst 12 Seiten und 4 Anlagen, die Bestandteil dieses Prüfbescheides sind.

<b>Revision</b>	<b>Datum</b>	<b>Änderungen</b>
0	08.02.2024	Erstausgabe

Hinweis:

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



## Inhaltsverzeichnis

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

## 0 Allgemeine Bestimmungen

Dieser Prüfbescheid zur Typenprüfung beinhaltet als Ergänzung zum Prüfbescheid [1.2.1] die Flachgründung des Hybrid-Stahlurms E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 (Konfiguration Nr. 2).

Es gelten die Allgemeinen Bestimmungen des Prüfbescheids [1.2.1].

## 1 Dokumente

### 1.1 Geprüfte Dokumente

#### Berechnungen

[1.1.1] ENERCON GmbH:  
„Statische Berechnung E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Flachgründung WK S  
(DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“,  
Dokument-Nr.: D02748129, Rev. 1, Datum: 26.04.2023

#### Anlagen zum Prüfbescheid zur Typenprüfung

##### Zeichnungen

[1.1.2] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 B500 / B400 Ø22.40m Schalplan Flachgrün-  
dung mit Auftrieb“,  
Zeichnungs-Nr.: D02658442, Rev. 1, Datum: 20.04.2023

[1.1.3] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Fundamentvariante DIBt / IEC B500  
Ø22.40m Bewehrungsplan unten Flachgründung“,  
Zeichnungs-Nr.: D02658443, Rev. 2, Datum: 29.06.2023

[1.1.4] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Fundamentvariante DIBt / IEC B500  
Ø22.40m Bewehrungsplan oben Flachgründung“,  
Zeichnungs-Nr.: D02658444, Rev. 2, Datum: 29.06.2023

##### Spezifikationen

[1.1.5] ENERCON GmbH:  
„Technisches Datenblatt E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Flachgründung WK  
S (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“,  
Dokument-Nr.: D02748130, Rev. 4, Datum: 02.08.2023

## 1.2 Dazugehörige Dokumente

### Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Prüfbescheid zur Typenprüfung Windenergieanlage E-160 EP5 E3 u. E-160 EP5 E3 R1, Rotorblatt LM 78.3 P, DIBt Windzone S, Geländekategorie S - Hybrid-Stahlurm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 -“,  
Prüfbescheid Nr.: T-7004/22-1 Rev. 2, Datum: 08.02.2024
- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D02337207, Rev. 4.2, Datum: 11.11.2021
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
„Load report Tower E-160 EP5 E3R1-HST-120-FB-C-01 Envelope of fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3R1-HST-120-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade LM78.3P\_2P as per DIBt and IEC ed. 4.“,  
Dokument-Nr.: D02772408, Rev. 0.3, Datum: 06.02.2023
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
„Statement of the Load Simulation Department E-160 EP5 E3R1-HST-120-FB-C-01 tower loads comparison statement“,  
Dokument-Nr.: D02785982, Rev. 0.0, Datum: 28.10.2022
- [1.2.5] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 119,827 m (E-160 EP5 E3 R1-HST-120-FB-C-01), DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Turm und Fundament -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D III Rev.0, Datum: 04.05.2023
- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage Fundamentkorb E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01“,  
Dokument-Nr.: D02481048, Rev. 3.0, Datum: 11.11.2021
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
„E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Fundamentkorb“,  
Zeichnungs-Nr.: D0993209, Rev. 1.0, Datum: 12.01.2022
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage ENERCON E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01“,  
Dokument-Nr.: D02630078, Rev. 1.0, Datum: 27.06.2022

## Spezifikationen

### [1.2.9] ENERCON GmbH:

„Hinweise zur Bauausführung Turmtypen: E-XX EX/XX/XX/XX/XX &  
E-XX EX/XX/XX/XX/XX Für alle Fundamenttypen“,  
Dokument-Nr.: D0748193, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018

### [1.2.10] ENERCON GmbH:

„Materialspezifikation Betonstahl“,  
Dokument-Nr.: D0181818, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

## Prüfung der Auslegungsanforderungen der DIN EN 61400-1:2011-08

### [1.2.11] ENERCON GmbH:

„Stellungnahme Verwendbarkeit IEC ed.3 anstatt IEC ed.4 für ENERCON  
WEA“,  
Dokument-Nr.: D02759428, Rev. 0.0, Datum: 06.09.2022

### [1.2.12] TÜV NORD CERT GmbH:

„GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME Windenergieanlage E-160 EP5 E3 und  
E-160 EP5 E3 R1 IEC 61400-1 Ed. 3“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: GS-8119616205-100-002-02, Datum: 07.02.2024

## **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 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 Re- geln für den Hochbau“

### [2.4] DIN EN 1997-1:2009-09 + DIN EN 1997-1/NA:2010-12:

„Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik –  
Teil 1: Allgemeine Regeln“

### [2.5] DIN 1054:2010-12 + A1:2012-08 + A2:2015-11:

„Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Rege-  
lungen zu DIN EN 1997-1“

- [2.6] 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“
  
- [2.7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:  
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterun-  
gen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAfStb Heft 439,  
1994
  
- [2.8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:  
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“,  
DAfStb Heft 600, 2012
  
- [2.9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:  
„Massige Bauteile aus Beton“, 2010-04

### **3 Einleitung**

Gegenstand dieses Prüfbescheids ist die Typenprüfung einer Flachgründung, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

### **4 Beschreibung**

#### **4.1 Fundament**

Das Fundament dient zur Aufnahme des Hybrid-Stahlturms E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisfundament weist einen Außendurchmesser von 22,40 m auf.

Unterhalb des Sockels befindet sich eine 50 cm dicke Fundamentvertiefung. Die Gesamthöhe des Sockels inkl. der Vertiefung beträgt 3,20 m. Die Fundamentsohle bzw. die Oberkante der Fundamentvertiefung liegen wegen der Sauberkeitsschicht 10 cm über der Oberkante des umgebenden Geländes.

Der Turm ist über einen Ankerkorb mit dem Fundament verbunden.

Weitere Details können dem Schalplan [1.1.2] und dem Fundamentdatenblatt [1.1.5] (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
2	E-160 EP5 E3 R1	119,99 m	5560 kW	LM 78.3 P	WZ S	GK S	[1.1.1], [1.2.4]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Fundamentnachweise

## 4.2 Lastannahmen

Die angesetzten Turmfußlasten decken folgende Konfiguration ab und sind in den aufgelisteten Dokumenten spezifiziert und geprüft worden:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
2	E-160 EP5 E3 R1	119,99 m	5560 kW	LM 78.3 P	WZ S	GK S	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslebensdauer beträgt 20 bzw. 25 Jahre (je nach Windbedingungen, siehe [1.2.1]).

Bei der Konfiguration Nr. 2 wurden keine Einwirkungen aus Erdbeben berücksichtigt. Falls Erdbebenlasten zu berücksichtigen sind, sind diese standortspezifisch zu ermitteln (s. [1.2.1]).

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten, Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung und ungleichmäßiger Fundamentsetzung wurde eine Schiefstellung der Turmachse von 8 mm/m angenommen.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder  $k_{\varphi,stat} = 12\,500\text{ MNm/rad}$  wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die dynamische Bodendrehfeder wurde mit  $k_{\varphi,dyn} = 100\,000\text{ MNm/rad}$  angesetzt.

Auf der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von  $5\text{ kN/m}^2$  für Servicefahrzeuge angesetzt. Zusätzlich wurde eine Verkehrslast von  $22\text{ kN/m}^2$  für einen Trafotausch berücksichtigt. Hierbei wurde angenommen, dass ein Transformator auf zwei Lastverteilerplatten à  $5 \times 1\text{ m}$  steht. Weitere Details zu den angesetzten Verkehrslasten können der statischen Berechnung [1.1.1] entnommen werden.

Das Fundament wurde mit und ohne Belastung aus teilweisem Auftrieb berechnet. In der statischen Berechnung wurde angenommen, dass der maximale Wasserstand aus Schichten- und Oberflächenwasser oder Grundwasser 2,80 m unter der Oberkante des Fundamentsockels und somit auf Höhe des umgebenden Geländes liegt.

Die Werte der Vorspannung wurden [1.2.8] entnommen und in [1.2.1] geprüft.

Zusätzlich zum Endzustand wurde der Montagezustand des Turms (Lastfall-Gruppe DLC 8.1/8.2/8.3) mit Gondel und Rotor vor der Aufbringung der verdichteten Bodenaufschüttung nachgewiesen (s. [1.1.2]).

### 4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Anlagen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. der Spezifikation [1.2.10] entnommen werden.

Fundamentplatte:	C35/45	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Betonstahl:	B500	DIN 488

## 5 Prüfung

### 5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) wurden in der eingereichten statischen Berechnung geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Für den Nachweis der Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 (Konfiguration Nr. 2) wurden die statische Berechnung [1.1.1] und der Lastvergleich [1.2.4] eingereicht. In dem Lastvergleich werden die Extrem- und Ermüdungslasten der Konfiguration Nr. 2 [1.2.3] den Auslegungslasten der Konfiguration Nr. 1 (Windenergieanlage E-160 EP5 E3) gegenübergestellt. Der Lastvergleich wurde in [1.2.5] geprüft.

Die Windenergieanlage, der Turm und die Fundamente und wurden zunächst mit Einwirkungen nach DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019-12 ausgelegt und geprüft. Gemäß der gutachtlichen Stellungnahme [1.2.12] kann für die dort unter [1.2] aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen sowie die dazugehörige Prüfung von Turm und Gründung die Erfüllung der technischen Auslegungsanforderungen der DIN EN 61400-1 Ed. 3 [2.2] ebenfalls bestätigt werden.

Die Prüfung umfasst das Fundament und die Bewehrungsnachweise im Bereich der Lasteinleitung.

Der Turm, der Ankerkorb, die Betonnachweise im Bereich der Lasteinleitung und die geotechnischen Nachweise sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Der Hybrid-Stahlurm, die Stahlbauteile des Ankerkorbs und die Betonnachweise im Bereich der Lasteinleitung wurden in [1.2.1] geprüft.

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.

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

### Fundament

Eine Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens wurde nicht berücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass ein duktiler Bauteilverhalten durch Umlagerung des Sohldrucks bzw. des Erddrucks sichergestellt werden kann.

## **5.3 Ergebnisse**

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

Der Lastvergleich [1.2.4] wurde in [1.2.5] ohne die Bewertung von Lastüberschreitungen geprüft. Gemäß dem Prüfbescheid [1.2.1] treten bei der Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 (Konfiguration Nr. 2) lediglich bei den Betriebslasten Überschreitungen auf, welche mit Erdbebenlasten zu überlagern sind.

## **5.4 Schnittstellen**

### Turm

5.4.1 Es wurde überprüft, ob das Fundament die im Prüfbescheid [1.2.1] spezifizierten Anforderungen erfüllt.

5.4.2 Es wurde geprüft, ob die für die Bewehrungsnachweise im Lasteinleitungsbereich angesetzten Geometrien mit den in [1.2.7] dargestellten Ankerkorb-Geometrien übereinstimmen.

### Geotechnische Nachweise

5.4.3 Alle geotechnischen Nachweise inklusive der nachfolgend aufgeführten Anforderungen an den Baugrund sind durch einen Gutachter für Geotechnik für den jeweiligen Gründungsbereich nachzuweisen.

5.4.4 Der Baugrund muss die in [1.1.5] spezifizierten Anforderungen erfüllen.



## Montage & Inbetriebnahme

5.4.5 Hinsichtlich der Vorspannung der Ankerbolzen gelten die Anforderungen des Prüfbescheids [1.2.1].

## Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

5.4.6 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

5.4.7 Etwaige Schäden an den in Betrieb genommenen Windenergieanlagen, wie z.B. unzulässige Risse, und daraus abgeleitete Reparatur- bzw. Sanierungsmaßnahmen sind dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen.

## Weiterbetrieb

5.4.8 Ist nach Ablauf der Auslegungslebensdauer ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage geplant, so ist hierzu Kapitel 17 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

# **6 Auflagen**

## Allgemeines

6.1 Die Anforderungen der in dem jeweiligen Bundesland geltenden Landesbauordnung sind zu beachten.

6.2 Alle Bescheinigungen und Protokolle sind vom Betreiber aufzubewahren und müssen auf Verlangen bei der zuständigen Baubehörde vorgelegt werden.

6.3 Falls bei der Konfiguration Nr. 2 Erdbebenlasten zu berücksichtigen sind, sind diese standortspezifisch zu ermitteln und mit den entsprechenden Betriebslasten in [1.2.3] zu überlagern.

## Fundament

6.4 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der Spezifikation [1.2.9] zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.

- 6.5 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Beton-technologie hinzuzuziehen. Die Betongüten sind durch Betonprüfzeugnisse der Lieferfirmen nachzuweisen. Auf die Einhaltung der geforderten Betondeckung sowie auf die fachgerechte Verlegung der Bewehrung ist zu achten. Bei Bauteilen des Gründungskörpers, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen, wurde die rechnerische Rissbreite auf 0,2 mm begrenzt, bei allen übrigen Bauteilen des Gründungskörpers auf 0,3 mm. Sollten nach dem Aushärten des Betons unzulässig breite Risse festgestellt werden, sind diese fachgerecht zu sanieren.

#### Anforderungen an den Baugrund

- 6.6 Die Drehfedersteifigkeit des Fundaments hängt von den Bodenkennwerten ab und ist für jeden Standort zu bestätigen.

## 7 Zusammenfassung

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

Der Prüfbescheid zur Typenprüfung gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration.

Alle relevanten Schnittstellen (Turm/Fundament) wurden überprüft.

Statisch relevante, konstruktive Änderungen am Fundament sind dem Prüfamts für Bau- statik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen und einer Bewertung zu unterziehen. An- sonsten verliert dieser Prüfbescheid seine Gültigkeit.

Dieser Prüfbescheid gilt nur zusammen mit dem Prüfbescheid zur Typenprüfung [1.2.1].

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause



An der Prüfung beteiligt:

M.Sc. E. Dottai

M.Sc. U. Lingslebe