

# **Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen**

## **ENERCON**

### **E-138 EP3-HT-131-ES-C-02**

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

**Rev. 1**

**1 Prüfbescheid zur Typenprüfung T-7003/19 Rev. 1 vom 06.01.2020****2 Hybridturm T-7003/19 - 1 Rev. 1 vom 06.01.2020****2.1 Übersicht Spanngliedführung D0691959-1****2.2 Schalplan Betonfertigteilturm D0691960-1****2.3 Zusammenstellungsplan Turm Statik D0691961-1****2.4 Stahlsektion Statik 28,5 m D0691927-2****2.5 Stahlsektion Statik 22,61 m D0691928-2****2.6 Stahlsektion Statik 6,79 m D0691929-3****3 Flachgründung mit Auftrieb  $\varnothing$  19,40 m  
T-7003/19 - 2 Rev. 1 vom 06.01.2020****3.1 Schalplan D0691951-2****3.2 Bewehrungsplan 1 D0691952-1****3.3 Bewehrungsplan 2 D0691953-1****3.4 Bewehrungsplan 3 Variante 1 D0691954-1****3.5 Bewehrungsplan 3 Variante 2 D0692002-1****3.6 Fundamentdatenblatt D0704625-4**

**4 Tiefgründung mit Auftrieb Ø 16,70 m**  
**T-7003/19 - 3 Rev. 1 vom 06.01.2020**

<b>4.1 Schalplan Variante A</b>	<b>D0691962-1</b>
<b>4.2 Schalplan Variante B</b>	<b>D0691963-1</b>
<b>4.3 Schalplan Variante C</b>	<b>D0691964-1</b>
<b>4.4 Schalplan Variante D</b>	<b>D0691965-1</b>
<b>4.5 Bewehrungsplan 1</b>	<b>D0691966-1</b>
<b>4.6 Bewehrungsplan 2</b>	<b>D0691967-1</b>
<b>4.7 Bewehrungsplan 3 Variante 1</b>	<b>D0691968-1</b>
<b>4.8 Bewehrungsplan 3 Variante 2</b>	<b>D0692004-0</b>
<b>4.9 Fundamentdatenblatt</b>	<b>D0704630-3</b>

**5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen**

<b>5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament</b>	<b>8115920151-1 D III Rev.2 vom 22.08.2019</b>
<b>5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau</b>	<b>8115920151- 1 D IV Rev.3 vom 12.03.2019</b>
<b>5.3 Sicherheitssystem und Handbücher</b>	<b>8115022604- 2 D Rev.0 vom 09.09.2019</b>
<b>5.4 Rotorblatt</b>	<b>8115022604- 3 D Rev.1 vom 13.09.2019</b>
<b>5.5 Maschinenbauliche Komponenten</b>	<b>8116092817- 4 D Rev.0 vom 16.05.2019</b>

**5.6 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8115022604- 5 D Rev.0 vom 06.09.2019**

**5.7 Turmkopfflansch 8115022604- 11 D II Rev.0 vom 08.02.2019**

**5.8 Verkleidungen & Strukturen 8116092817- 12 D Rev.0 vom 21.05.2019**

## 6 Revisionstabelle

Datum	Änderung
18.09.2019 Rev. 0	<p><b>Dokument erstellt</b></p> <p><b>1 Prüfbescheid zur Typenprüfung</b></p> <p><b>2 Hybridturm T-7003/19 - 1 Rev. 0 vom 12.09.2019</b></p> <p>2.1 Übersicht Spanngliedführung D0691959-1</p> <p>2.2 Schalplan Betonfertigteilturm D0691960-1</p> <p>2.3 Zusammenstellungsplan Turm Statik D0691961-1</p> <p>2.4 Stahlsektion Statik 28,5 m D0691927-2</p> <p>2.5 Stahlsektion Statik 22,61 m D0691928-2</p> <p>2.6 Stahlsektion Statik 6,79 m D0691929-3</p> <p><b>3 Flachgründung mit Auftrieb 19,40 m T-7003/19 - 2 Rev. 0 vom 12.09.2019</b></p> <p>3.1 Schalplan D0691951-2</p> <p>3.2 Bewehrungsplan 1 D0691952-1</p> <p>3.3 Bewehrungsplan 2 D0691953-1</p> <p>3.4 Bewehrungsplan 3 Variante 1 D0691954-1</p> <p>3.5 Bewehrungsplan 3 Variante 2 D0692002-1</p> <p>3.6 Fundamentdatenblatt D0704625-4</p> <p><b>4 Tiefgründung mit Auftrieb 16,70 m T-7003/19-3 Rev. 0 vom 12.09.2019</b></p> <p>4.1 Schalplan Variante A D0691962-1</p> <p>4.2 Schalplan Variante B D0691963-1</p> <p>4.3 Schalplan Variante C D0691964-1</p> <p>4.4 Schalplan Variante D D0691965-1</p> <p>4.5 Bewehrungsplan 1 D0691966-1</p> <p>4.6 Bewehrungsplan 2 D0691967-1</p> <p>4.7 Bewehrungsplan 3 Variante 1 D0691968-1</p> <p>4.8 Bewehrungsplan 3 Variante 2 D0692004-0</p> <p>4.9 Fundamentdatenblatt D0704630-3</p> <p><b>5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen</b></p> <p>5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament 8115920151-1 D III Rev.2 vom 22.08.2019</p> <p>5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8115920151- 1 D IV Rev.3 vom 12.03.2019</p> <p>5.3 Sicherheitssystem und Handbücher 8115022604- 2 D Rev.0 vom 09.09.2019</p> <p>5.4 Rotorblatt 8115022604- 3 D Rev.1 vom 13.09.2019</p> <p>5.5 Maschinenbauliche Komponenten 8116092817- 4 D Rev.0 vom 16.05.2019</p> <p>5.6 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8115022604- 5 D Rev.0 vom 06.09.2019</p> <p>5.7 Turmkopfflansch 8115022604- 11 D II Rev.0 vom 08.02.2019</p> <p>5.8 Verkleidungen &amp; Strukturen 8116092817- 12 D Rev.0 vom 21.05.2019</p>
12.02.2020 Rev. 1	<p><b>Dokument erstellt</b></p> <p>1 Prüfbescheid zur Typenprüfung T-7003/19 Rev. 1 vom 06.01.2020</p> <p>2 Hybridturm T-7003/19 - 1 Rev. 0 vom 12.09.2019</p> <p>3 Flachgründung mit Auftrieb 19,40 m T-7003/19 - 2 Rev. 0 vom 12.09.2019</p> <p>4 Tiefgründung mit Auftrieb 16,70 m T-7003/19-3 Rev. 0 vom 12.09.2019</p>

Essen, 06.01.2020

## Prüfbescheid zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01,  
Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02,  
DIBt Windzone 2, Geländekategorie II**

<b>Prüfbescheid Nr.:</b>	T-7003/19 Rev. 1
<b>Typenentwurf:</b>	Hybridturm und Fundamente für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
<b>Antragsteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Geltungsdauer bis:</b>	30.09.2024

**Dieser Prüfbescheid gilt nur in Verbindung mit den unter Punkt 4 genannten Prüfberichten zur Typenprüfung und gutachtlichen Stellungnahmen.**

Der Prüfbescheid umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	16.09.2019	Erstausgabe
1	06.01.2020	- Neue Revisionen der Prüfberichte [4.2.1], [4.2.2] und [4.2.3] - Genauere Angabe der Nabenhöhe - Ergänzung von Rotorblattabmessungen

## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Bestimmungen .....	3
2	Einleitung .....	3
	2.1 Beschreibung von Änderungen .....	3
3	Prüfgrundlagen .....	4
4	Dokumente .....	4
	4.1 Anlagen zum Prüfbescheid .....	4
	4.2 Prüfberichte zur Typenprüfung .....	4
	4.3 Dazugehörige Dokumente .....	5
	4.4 Gutachtliche Stellungnahmen .....	5
5	Beschreibung .....	6
	5.1 Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 .....	6
	5.2 Flachgründung mit Auftrieb .....	8
	5.3 Tiefgründung mit Auftrieb .....	8
6	Umfang der Prüfung .....	8
7	Baustoffe .....	9
8	Bemerkungen .....	9
9	Auflagen .....	9
10	Zusammenfassung .....	10

## 1 Allgemeine Bestimmungen

1.1 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 Punkt 4 aufgeführten Prüfberichten zur Typenprüfung übereinstimmt.

Bei Abweichungen von diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung oder seinen unter Punkt 4 aufgeführten Prüfberichten zur Typenprüfung ist die Standsicherheit im Einzelfall nachzuweisen und zu prüfen.

1.2 Diese Typenprüfung ersetzt keine für die Durchführung von Bauvorhaben erforderlichen Genehmigungen.

1.3 Diese Typenprüfung darf nur vollständig - nicht auszugsweise - und ihre Prüfberichte zur Typenprüfung (s. Punkt 4) dürfen nur zusammen mit dem Prüfbescheid zur Typenprüfung verwendet oder veröffentlicht werden.

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

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

## 2 Einleitung

Gegenstand dieses Prüfbescheids ist die Typenprüfung des Hybridturms E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 und der zugehörigen Fundamente, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurden.

### 2.1 Beschreibung von Änderungen

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

- Der projizierte Rotordurchmesser unter Berücksichtigung von Konuswinkel und Rotorblattbiegung beträgt gemäß Anlage Nr. 2  $\varnothing = 138,25$  m. Den Lastberechnungen (siehe 4.3) liegt abweichend zu den Angaben in Anlage Nr. 2 jedoch ein größerer nomineller Rotordurchmesser von 138,6 m zugrunde. Diese Erklärung wurde als Fußnote „b“ zur Tabelle 5.1 ergänzt.
- Die Prüfberichte [4.2.1], [4.2.2], [4.2.3] sowie dieser Prüfbescheid zur Typenprüfung redaktionell überarbeitet (Genauere Angabe der Nabenhöhe, Ergänzung von Rotorblattabmessungen).

### **3 Prüfgrundlagen**

- [3.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Korrigierte Fassung 03.2015):  
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“
- [3.2] DIN EN 61400-1 (08.2011):  
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“

Ferner gelten die in den Prüfberichten zur Typenprüfung genannten Prüfgrundlagen.

### **4 Dokumente**

#### **4.1 Anlagen zum Prüfbescheid**

Folgende Anlagen beschreiben die Windenergieanlage dieser Typenprüfung:

- Anlage Nr. 1 ENERCON GmbH:  
„Technische Beschreibung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3“, Dokument-Nr.: D0612062-6, Rev. 6, Datum: 05.08.2019
- Anlage Nr. 2 ENERCON GmbH:  
„Ansichtszeichnung Hybridturm, E-138 EP3-HT-131-ES-C-02“, Dokument-Nr.: EP3.00.035 - 5, Rev. 5, Datum: 12.03.2019

#### **4.2 Prüfberichte zur Typenprüfung**

- [4.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, DIBt Windzone 2, Geländekategorie II, - Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 -“, Prüfbericht Nr.: T-7003/19 - 1 Rev. 1, Datum: 06.01.2020
- [4.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, DIBt Windzone 2, Geländekategorie II, - Flachgründung mit Auftrieb, D=19,40 m -“, Prüfbericht Nr.: T-7003/19 - 2 Rev. 1, Datum: 06.01.2020
- [4.2.3] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, DIBt Windzone 2, Geländekategorie II, - Tiefgründung mit Auftrieb, D=16,70 m -“, Prüfbericht Nr.: T-7003/19 - 3 Rev. 1, Datum: 06.01.2020



### **4.3 Dazugehörige Dokumente**

- [4.3.1] ENERCON GmbH:  
„Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3, Rev.5“,  
Dokument-Nr.: D0556048-5, Rev. 5, Datum: 26.03.2018
- [4.3.2] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht, Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC“,  
Dokument-Nr.: D0736515-0d, Rev. 0d, Datum: 19.08.2019
- [4.3.3] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht, Maschinenbau E-138 EP3, Abdeckende Betriebs- und Extrem-  
lasten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01  
nach DIBt und IEC“, Dokument-Nr.: D0722965-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [4.3.4] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Abdeckende Lasten für das Rotor-  
blatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC“,  
Dokument-Nr.: D0722969-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [4.3.5] ENERCON GmbH:  
„Betriebslastenbericht, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Abdeckende Betriebslas-  
ten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3  
nach DIBt und IEC“, Dokument-Nr.: D0722967-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [4.3.6] ENERCON GmbH:  
„Extremlastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Extremlasten  
für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach  
DIBt und IEC“, Dokument-Nr.: D0722968-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [4.3.7] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht der Anbauteile, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Abdeckende Be-  
triebs- und Extremlasten der Anbauteile für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit  
dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC“,  
Dokument-Nr.: D0736544-0b, Rev. 0b, Datum: 19.02.2019

### **4.4 Gutachtliche Stellungnahmen**

- [4.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) DIBt WZ 2, GK II  
- Lastannahmen für Turm und Fundament-“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D III, Rev. 2, Datum: 22.08.2019

- [4.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II,  
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -“  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D IV, Rev. 3, Datum: 12.03.2019
- [4.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme ENERCON E-138 EP3  
-Sicherheitssystem und Handbücher-“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115 022 604-2 D Rev. 0, Datum: 09.09.2019
- [4.4.4] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
E-138 EP3, unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen,  
- Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115 022 604 - 3 D Rev. 1, Datum: 13.09.2019
- [4.4.5] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3, - Maschinenbauliche Komponenten -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 092 817-4 D Rev. 0, Datum: 16.05.2019
- [4.4.6] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3,  
- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115 022 604 - 5 D Rev. 0, Datum: 06.09.2019
- [4.4.7] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3, verschie-  
dene Konfigurationen, - Turmkopfflansch -“,  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604 - 11 D II Rev. 0, Datum: 08.02.2019
- [4.4.8] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3, - Verkleidungen & Strukturen -“,  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 092 817-12 D Rev. 0, Datum: 21.05.2019

## **5 Beschreibung**

### **5.1 Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02**

Der Turm hat eine Höhe von 126,66 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus einem vorgespannten Betonfertigteilturm und einem Stahlteil. Der Außendurchmesser des Betonturms beträgt 8,429 m am Turmfuß. Der Kopfflansch des Stahlteils zur Aufnahme der Anlage hat einen Außendurchmesser von 3,557 m.

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

Die Segmente bestehen aus werksmäßig hergestellten Stahlbetonfertigteilen. Die unteren Segmente werden dabei aus zwei Schalenelementen zusammengefügt, während die oberen vier Segmente und der Betonadapter aus einem Stück hergestellt sind.

Die horizontale Fuge zwischen den Betonsegmenten kann entweder als Verbundfuge mit Kunstharzmörtel als Füllmaterial oder alternativ als verbundlose Systemfuge ausgeführt werden.

Die Teilschalen werden in den vertikalen Fugen durch einbetonierte Schraubkästen und vorgespannte Schrauben verbunden.

Der Betonturm ist auf einer Mörtelschicht auf dem Fundament gebettet und wird mit externen Spanngliedern ohne Verbund vorgespannt. Die Spannstelle befindet sich dabei im Spannkeller des Fundaments.

Am oberen Ende dient der Fußflansch des Stahlteils als Widerlager für die Spannglieder.

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

Weitere Details können den geprüften Zeichnungen zum Stahteil und zum Betonturm entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Maximale Nennleistung	Rotorblatt	Rotor- Ø	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Gondelmasse
1	E-138 EP3	130,03 m	3500 kW	E-138 EP3-RB-01 <sup>a</sup>	138,6 m <sup>b</sup>	WZ 2	GK II	251,77 t

Tabelle 5.1: Geprüfte Konfiguration für Turmnachweise

- <sup>a)</sup> Die Rotorblätter sind mit Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations), Vortexgeneratoren (VG) oder Rotorblattspitzen (Blade Tips) ausgestattet. Diese zusätzlichen Anbauteile sind lastseitig erfasst (siehe [4.4.1] und [4.4.2]) und deren strukturell Integrität und Verklebung mit dem Rotorblatt in [4.4.4] geprüft.
- <sup>b)</sup> Den Lastberechnungen (siehe 4.3) wurde konservativ der größere nominelle Rotordurchmesser 138,6 m zugrunde gelegt. Der projizierte Rotordurchmesser, unter Berücksichtigung von Konuswinkel und Rotorblattbiegung, beträgt hingegen 138,25 m (siehe Anlage Nr. 2).

## 5.2 Flachgründung mit Auftrieb

Das Kreisringfundament mit einer lastabtragenden Bodenplatte weist einen Außendurchmesser von 19,40 m auf.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Bei der Prüfung der Flachgründung mit Auftrieb wurde die gleiche Anlagenkonfiguration wie bei der Turmprüfung berücksichtigt.

## 5.3 Tiefgründung mit Auftrieb

Das Kreisringfundament weist einen Außendurchmesser von 16,70 m auf und ist für die folgenden Pfahlvarianten ausgelegt:

- 45 Fertigteilrammpfähle mit 45/45cm
- 39 Ortbetonrammpfähle mit Ø51cm
- 33 Ortbetonrammpfähle mit Ø56cm
- 25 Bohrpfähle mit Ø100cm

Unter dem Kreisring ist eine 50 cm dicke, bewehrte Bodenplatte angeordnet. Die Bodenplatte dient als Zugband und ist für Wasserdruck von unten, für ständige Last aus dem Transformator, für die Lasten aus dem Transformatortausch und auch für die Normalkraft ausgelegt.

Bei der Prüfung der Tiefgründung mit Auftrieb wurde die gleiche Anlagenkonfiguration wie bei der Turmprüfung berücksichtigt.

## 6 Umfang der Prüfung

Die bautechnische Prüfung umfasst den Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 und die Gründungen.

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

- zulässiger Turmeigenfrequenzbereich gemäß [4.4.1]
- Turmaußenabmessungen hinsichtlich des verbleibenden Freigangs bei durchgebogenen Rotorblättern

Der Turmkopfflansch einschließlich der Schweißnahtverbindung zum Turm wurde anhand einer Finite-Elemente-Analyse nachgewiesen und in [4.4.7] geprüft.

Die Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager ist nicht Bestandteil der bautechnischen Prüfung. Sie wurde im Rahmen der gutachtlichen Stellungnahme zu den maschinenbaulichen Strukturen behandelt (s. [4.4.5]).

Lageplan und Baugrundgutachten (s. [3.1], 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 [4.4.1] und [4.4.2] bestätigt.

Die Bewertung der Sicherheitseinrichtungen und Handbücher, des Rotorblatts, der maschinenbaulichen Komponenten, der Verkleidung von Maschinenhaus und Nabe sowie der elektrotechnischen Komponenten und des Blitzschutzes erfolgt in den gutachtlichen Stellungnahmen [4.4.3] bis [4.4.8].

Die geprüften Dokumente zum Hybridturm und zu den Gründungen sind jeweils im Abschnitt 1.1 der Prüfberichte zur Typenprüfung aufgelistet.

## **7 Baustoffe**

Die Auflistung der Baustoffe erfolgt jeweils im Abschnitt 4.3 der Prüfberichte zur Typenprüfung.

## **8 Bemerkungen**

- 8.1 Eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen zu den Nachweisen der Turmeinbauten (z.B. Arbeitsbühnen, Leitern oder Befahrenrichtungen) sowie die zugehörigen Schweißanschlüsse oder Verankerungen ist gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I nicht erforderlich und dementsprechend auch nicht Gegenstand dieser Typenprüfung.
- 8.2 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 8.3 Es ist die zum Zeitpunkt der Herstellung gültige Bauregelliste zu beachten.
- 8.4 Ist nach Ablauf der rechnerisch zugrunde gelegten Lebensdauer von 25 Jahren ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage geplant, so ist hierzu Kapitel 17 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

## **9 Auflagen**

- 9.1 Die betriebliche Schwingungsüberwachung ist so einzustellen, dass außergewöhnliche Zustände (z.B. unsymmetrischer Eisbesatz, Fehler in der Betriebsführung o.ä.), die zu stärkerem Schwingen des Turmes führen, erkannt werden und die Anlage geparkt wird.

- 9.2 Die Auflagen im Abschnitt 6 der Prüfberichte zur Typenprüfung (s. Punkt 4.2) und die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen (s. Punkt 4.4) sind zu beachten. Die gutachtlichen Stellungnahmen sind zur Bauakte zu nehmen.
- 9.3 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 den Prüfberichten zur Typenprüfung errichtet worden ist. Diese Herstellererklärung ist der Bauaufsichtsbehörde vorzulegen und zur Bauakte zu nehmen.
- 9.4 Alle Bescheinigungen und Protokolle sind vom Betreiber aufzubewahren und müssen auf Verlangen der zuständigen Baubehörde vorgelegt werden.
- 9.5 Eine Bescheinigung über die einwandfreie Beschaffenheit der gelieferten Rotorblätter (Werksprüfzeugnis) ist vorzulegen.
- 9.6 In der gutachtlichen Stellungnahme [4.4.6] sind Auflagen bezüglich noch vorzulegender Testberichte und Nachweise formuliert. Diese Auflagen sind für die Standsicherheit von Turm und Gründung nicht relevant, sind jedoch bis zur Inbetriebnahme der ersten Windenergieanlage dieses Typs zu erfüllen und mittels gutachtlicher Stellungnahme zu bewerten.

## 10 Zusammenfassung

Der unter Punkt 5 beschriebene Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 und die die zugehörigen Gründungen sind für die in Tabelle 5.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration ausgelegt.

Die unter Punkt 4.4 aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen sind - unter Beachtung der Auflage 9.6 - hinsichtlich der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I vollständig und können für diese Windenergieanlage verwendet werden.

Alle relevanten Schnittstellen (Maschine/Turm/Fundament) wurden überprüft.

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

Der stellvertretende Leiter



Dipl.-Ing. (FH) Sven Möller



## Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01,  
DIBt Windzone 2, Geländekategorie II**

**- Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 -**

<b>Prüfbericht Nr.:</b>	T-7003/19 - 1 Rev. 1
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Standicherheit des Hybridturms E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 für die oben genannte Windenergieanlage als Betonfertigteilturm mit Stahlsektionen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland  H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland

**Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.**

Der Prüfbericht umfasst 15 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	12.09.2019	Erstausgabe
1	06.01.2020	- Genauere Angabe der Nabenhöhe - Ergänzung zu Rotorblattabmessungen

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	5
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einleitung .....	7
4	Beschreibung .....	8
4.1	Turm.....	8
4.2	Lastannahmen .....	9
4.3	Baustoffe .....	9
5	Prüfung .....	10
5.1	Umfang und Methodik .....	10
5.2	Anmerkungen zur Prüfung .....	11
5.3	Ergebnisse .....	12
5.4	Schnittstellen .....	12
6	Auflagen.....	14
7	Zusammenfassung .....	15



## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Statische Berechnungen von H+P Ingenieure GmbH

- [1.1.1] „STATISCHE BERECHNUNG TURMSTATIK E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Bauteil: Hybridturm Projekt: E18-023“, Dokument-Nr.: D0392188-4, Seite 1 bis 132, 134-4a bis 134-10a und 137 bis 417, Rev. 4, Datum: 26.08.2019
- [1.1.2] „LASTVERGLEICH E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Bauteil: Hybridturm Projekt: E18-023“, Dokument-Nr.: D0392236-1, Rev. 1, Datum: 06.12.2018
- [1.1.3] „MATERIALZÄHIGKEITSBERECHNUNG TURMSTATIK E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 RINGFLANSCH H=+67,740M Bauteil: Hybridturm Projekt: E18-023“, Dokument-Nr.: D0392238-0, Rev. 0, Datum: 17.12.2018

#### Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung von H+P Ingenieure GmbH

- [1.1.4] „Planinhalt: Zusammenstellung Turm Statik E-138 EP3-HT-131-ES-C-02“, Dokument-Nr.: D0691961-1, Rev. 1, Datum: 01.02.2019
- [1.1.5] „Benennung: 28,5m Stahlsektion Statik“, Dokument-Nr.: D0691927-2, Rev. 2, Datum: 05.11.2018
- [1.1.6] „Benennung: 22,61m Stahlsektion Statik“, Dokument-Nr.: D0691928-2, Rev. 2, Datum: 05.11.2018
- [1.1.7] „Benennung: 6,79m Stahlsektion Statik“, Dokument-Nr.: D0691929-3, Rev. 3, Datum: 08.03.2019
- [1.1.8] „Planinhalt: Schalplan Betonfertigteilturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02“, Dokument-Nr.: D0691960-1, Rev. 1, Datum: 01.02.2019
- [1.1.9] „Planinhalt: Übersicht Spanngliedführung E-138 EP3-HT-131-ES-C-02“, Dokument-Nr.: D0691959-1, Rev. 1, Datum: 01.02.2019
- [1.1.10] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 04-SP08“, Dokument-Nr.: D0691931-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.11] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 05-SP09“, Dokument-Nr.: D0691932-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.12] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 06-SP11“, Dokument-Nr.: D0691933-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.13] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 07-SP08“, Dokument-Nr.: D0691934-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019

- [1.1.14] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 08-SP08“,  
Dokument-Nr.: D0691935-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.15] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg\_09 -SP08“,  
Dokument-Nr.: D0691936-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.16] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 10-SP08“,  
Dokument-Nr.: D0691937-1, Rev. 1, Datum: 01.02.2019
- [1.1.17] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 11-SP09“,  
Dokument-Nr.: D0691938-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.18] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 12-SP09“,  
Dokument-Nr.: D0691939-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.19] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 13-SP09“,  
Dokument-Nr.: D0691940-1 , Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.20] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 14-SP10“,  
Dokument-Nr.: D0691941-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.21] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 15-SP09“,  
Dokument-Nr.: D0691942-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.22] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 16-SP09“,  
Dokument-Nr.: D0691943-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.23] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 17-SP12“,  
Dokument-Nr.: D0691944-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.24] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 18-SP08“,  
Dokument-Nr.: D0691945-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.25] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 19-SP08“,  
Dokument-Nr.: D0691946-1 , Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.26] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 20-SP08“,  
Dokument-Nr.: D0691947-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.27] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 21-SP07“,  
Dokument-Nr.: D0691948-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.28] „Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 22-SP06“,  
Dokument-Nr.: D0691949-1, Rev. 1, Datum: 01.02.2019
- [1.1.29] „Schraubkasten Typ F Statik“,  
Dokument-Nr.: 00.15.025-9, Rev. 9, Datum: 22.11.2017

### Bauvorlagen von ENERCON GmbH:

- [1.1.30] „Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D0654095-3, Rev. 3, Datum: 30.11.2018
- [1.1.31] „BERECHNUNG DER VORSPANNKRÄFTE UND DEHNWEGE E-138 EP3-HT-  
131-ES-C-02 Bauteil: Betonfertigteilturm Projekt: E18-023“,  
Dokument-Nr.: D0392222-0, Rev. 0, Datum: 09.10.2018
- [1.1.32] „Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Spannverfahren“,  
Dokument-Nr.: D0725165-2, Rev. 2, Datum: 06.06.2019

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Lastannahmen

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC“,  
Dokument-Nr.: D0736515-0d, Rev. 0d, Datum: 19.08.2019
- [1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) DIBt WZ 2, GK II  
- Lastannahmen für Turm und Fundament-“,  
Bericht Nr.: 8115920151-1 D III, Rev. 2, Datum: 22.08.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC“,  
Dokument-Nr.: D0678520-0 Rev. 0, Datum: 23.04.2018

### Kopfflansch

- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“,  
Dokument-Nr.: 115.03.003-1, Rev. 1, Datum: 20.02.2018
- [1.2.5] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 verschie-  
dene Konfigurationen - Turmkopfflansch -“,  
Bericht Nr.: 8115 022 604 - 11 D II, Rev. 0, Datum: 08.02.2019

## Spezifikationen

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
„Spezifikation Horizontale Systemfuge“,  
Dokument-Nr.: D0306333-3, Rev. 3, Datum: 16.07.2015
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
„Spezifikation Verschraubung des Schraubkastens für den Betonfertigteilturm“,  
Dokument-Nr.: D0210193/1, Rev. 3, Datum: 04.07.2012
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
„Spezifikation Verschrauben von Ringflanschen“,  
Dokument-Nr.: D0215476-2, Rev. 2, Datum: 05.01.2017
- [1.2.9] ENERCON GmbH:  
„Spezifikation Temporäre Teilvorspannung bei Fundamentkörben bzw. Verbindungsflanschen“,  
Dokument-Nr.: D0193587-2, Rev. 2, Datum: 07.08.2014

## Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

- [1.2.10] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:  
„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung; Zulassungsnummer: Z-13.3-110; Zulassungsgegenstand: Litzenspannverfahren VT-CMM KD für externe Vorspannung“, gültig vom 01.02.2018 bis 02.09.2020
- [1.2.11] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:  
„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-143; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren VT-CMM D/KD für Windenergieanlagen“, gültig vom 02.09.2017 bis 02.09.2020

## **2 Prüfgrundlagen**

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

- [2.5] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04  
„Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.6] DIN EN 1993-1-1:2010-12 + A1:2014-07 + DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.7] DIN EN 1993-1-6:2010-12 + DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen“
- [2.8] DIN EN 1993-1-8:2010-12 + DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“
- [2.9] DIN EN 1993-1-9:2010-12 + DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung“
- [2.10] DIN EN 1993-1-10:2010-12 + DIN EN 1993-1-10/NA:2016-04  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung“
- [2.11] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01  
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.12] DIN EN 1998-6:2006-03  
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine“
- [2.13] DAfStb Heft 439 (1994)  
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“
- [2.14] DAfStb Heft 600 (2012)  
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“

### **3 Einleitung**

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung eines Hybridturms E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, welcher nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

## 4 Beschreibung

### 4.1 Turm

Der Turm hat eine Höhe von 126,66 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus einem vorgespannten Betonfertigteilturm und einem Stahlteil. Der Außendurchmesser des Betonturms beträgt 8,429 m am Turmfuß. Der Kopfflansch des Stahlteils zur Aufnahme der Anlage hat einen Außendurchmesser von 3,557 m.

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

Die Segmente bestehen aus werksmäßig hergestellten Stahlbetonfertigteilen. Die unteren Segmente werden dabei aus zwei Schalenelementen zusammengefügt, während die oberen vier Segmente und der Betonadapter aus einem Stück hergestellt sind.

Die horizontale Fuge zwischen den Betonsegmenten kann entweder als Verbundfuge mit Kunstharzmörtel als Füllmaterial oder alternativ als verbundlose Systemfuge ausgeführt werden (siehe auch [1.2.6]).

Die Teilschalen werden in den vertikalen Fugen durch einbetonierte Schraubkästen und vorgespannte Schrauben verbunden.

Der Betonturm ist auf einer Mörtelschicht auf dem Fundament gebettet und wird mit externen Spanngliedern ohne Verbund vorgespannt. Die Spannstelle befindet sich dabei im Spannkeller des Fundaments.

Am oberen Ende dient der Fußflansch des Stahlteils als Widerlager für die Spannglieder.

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

Weitere Details können den geprüften Zeichnungen zum Stahteil [1.1.5]-[1.1.7] und zum Betonturm [1.1.8]-[1.1.29] entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Turmnachweise
1	E-138 EP3	3500 kW	E-138 EP3-RB-01	WZ 2	GK II	[1.1.1] - [1.1.3]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Turmnachweise

Die betrachtete Windenergieanlage hat folgende technische Basisdaten:

Nabenhöhe:	130,03 m
Gondelmasse (inkl. Rotor):	251,77 t
Rotordurchmesser (nominell)	138,6 m
Rotordurchmesser (projeziert)	138,25 m *

\*) Projektion unter Berücksichtigung von Konuswinkel und Rotorblattbiegung

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

$$f_0 = 0,245 \text{ Hz bei elastischer Einspannung (} k_{\phi, \text{dyn}} = 100\,000 \text{ MNm/rad)}$$

$$f_0 = 0,282 \text{ Hz bei starrer Einspannung}$$

## 4.2 Lastannahmen

Die Lastannahmen wurden mit einem gesamtdynamischen Modell der Anlage unter Berücksichtigung der Elastizität von Turm und Rotorblättern bestimmt. Dabei wurde am Turmfuß sowohl eine starre Einspannung als auch eine elastische Einspannung von  $k_{\phi, \text{dyn}} = 100\,000 \text{ MNm/rad}$  angesetzt.

Die folgenden Lastannahmen liegen der Turmberechnung zugrunde:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3	130,03 m	3500 kW	E-138 EP3-RB-01	WZ 2	GK II	[1.2.1]	[1.2.2]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Lastannahmen sind für eine Turmeigenfrequenz von 0,253 - 0,295 Hz (fore-aft) mit einem zulässigen Intervall von  $\pm 5 \%$  gültig.

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

## 4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. den Spezifikationen [1.2.6] bis [1.2.9] und der Zeichnung [1.2.4] (Turmkopfflansch) entnommen werden.

### Stahlteil

Baustahl: S355 & S235 DIN EN 10025-1 bis -3

L-Flanschschrauben: HV-Garnituren DIN EN 14399 / DASt-RiLi 021  
Festigkeitsklasse 10.9 DIN EN ISO 898-1

Darüber hinaus basiert die Bemessung des Stahlteils auf folgenden Annahmen:

Für die Ringflansche werden in [1.1.1] folgende Wert der Streckgrenze angenommen:

- Flansch auf  $h = 97,14$  m:  $R_{eH} = 323$  N/mm<sup>2</sup>
- Flansch auf  $h = 74,53$  m:  $R_{eH} = 314$  N/mm<sup>2</sup>
- Flansch auf  $h = 67,74$  m:  $R_{eH} = 297$  N/mm<sup>2</sup>

### Betonfertigteilturm

Beton: C55/67 bis C70/85 DIN EN 206-1, DIN 1045-2

Betonstahl: B500B DIN 488

Spannverfahren: VT-CMM KD Litzenspannverfahren ohne Verbund, Zulassung Nr. Z-13.3-110 [1.2.10] mit Z-13.3-143 [1.2.11], 24 externe Spannglieder vom Typ 4x04-165 KD mit 16 Litzen, Stahlgüte St 1600/1820

Darüberhinaus basiert die Bemessung des Betonturms auf folgenden Annahmen:

Klebemörtel: Kunstharzmörtel nach DIN EN 1504-4 (inkl. Anhang A). Der Mörtel muss mindestens die Festigkeiten der sich anschließenden Fertigteilesegmente besitzen.

Vergussbeton  $\geq$  C70/85 DIN EN 206-1  
Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“ genügen

## **5 Prüfung**

### **5.1 Umfang und Methodik**

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

Die statische Berechnung in [1.1.1] beruht auf den Lasten in [1.2.3]. Diese Lasten wurden geändert und in einem neuen Lastdokument [1.2.1] ausgewiesen, welches in [1.2.2] geprüft wurde. Zum Nachweis der Standsicherheit des Fundaments wurde der ergänzende Lastvergleich [1.1.2] eingereicht und geprüft, in welchem die aktuellen Lasten [1.2.1] den ursprünglichen Bemessungslasten [1.2.3] der statischen Berechnung [1.1.1] gegenübergestellt wurden.



Die Prüfung umfasst den vorgespannten Betonfertigteilturm mit Stahlsektionen.

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 ausreichende Freigang zwischen Turm und durchgebogenem Rotorblatt wurde in [1.2.2] geprüft.

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

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

Die Ausrundung am Kopfflansch, der Stumpfstoß zwischen Turmwand und Kopfflansch sowie die Schrauben der Ringflanschverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager wurden in [1.2.5] geprüft.

Montagezustände wurden unter Ansatz von Winddruck und wirbelerregten Querschwingungen gemäß DIN EN 1991-1-4 berücksichtigt (s. [1.1.1]). Weitere Zustände während des Transports und der Montage sind nicht Bestandteil der Prüfung.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden in [1.1.1] berücksichtigt. Die Berechnung für Erdbebenzone 3 und die Untergrundverhältnisse C-T deckt alle Erdbebenzonen und Untergrundverhältnisse Deutschlands gemäß DIN EN 1998-1/NA ab.

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

## **5.2 Anmerkungen zur Prüfung**

### Allgemeines

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

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten und Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung wurde eine Schiefstellung der Turmachse von 5 mm/m angenommen. Zusätzlich wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder  $k_{\varphi,stat} = 10\,000\text{ MNm/rad}$  wurde ebenfalls berücksichtigt.

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

## Stahlteil

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

Die Geometrie des geprüften Kopfflansches in Zeichnung [1.2.4] wurde mit dem Turmdesign abgeglichen. Die strukturelle Integrität des Kopfflansches und seiner Schrauben wurde in [1.2.5] geprüft. Somit ist die Schnittstelle zwischen dem Turm und der Kopfflanschbaugruppe geklärt.

## Betonteil

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

### **5.3 Ergebnisse**

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

Der Lastvergleich [1.1.2] zeigt geringfügige Lastüberschreitungen, für diese Lasten wurden die betroffenen Turmbestandteile nachgewiesen und die Nachweise durch Vergleichsrechnung geprüft.

### **5.4 Schnittstellen**

#### Maschinenbauliche Komponenten

5.4.1 Der Nachweis des Turmkopfflansches wurde mit einer minimalen Schraubenvorspannkraft von 387,6 kN geführt.

#### Einbauten

5.4.2 Für den Ermüdungsnachweis der Turmwand wurden die in Tabelle 5.1 gezeigten Kerbfälle nach DIN EN 1993-1-9 in Abhängigkeit der Position bezüglich der UK des T-Flansches berücksichtigt.

Kerbfall [MPa]	Geringster zulässiger Abstand von FOK [m]	Größter zulässiger Abstand von FOK [m]
80	67,740	111,64
71	111,64	114,415
80	114,415	125,640

Tabelle 5.1: Angesetzte Kerbfälle und ihre Grenzabstände

5.4.3 Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten (z.B. für Arbeitsbühnen, Leitern, Befahreinrichtungen oder Anschlagpunkte) haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit der Betonkonstruktion. Alle verwendeten Befestigungsmittel müssen jedoch bauaufsichtlich zugelassen und nachgewiesen sein.

#### Fundament

5.4.4 Die Anforderungen an das Fundament sind in [1.1.30] spezifiziert. Die Vorspannkräfte am Turmfuß sind [1.1.31] und [1.1.32] zu entnehmen.

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

#### Montage & Inbetriebnahme

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

Turm mit Gondel und ohne Rotor:	0,5 Jahre
Turm ohne Gondel und ohne Rotor:	0,2 Jahre
Turm ohne die oberste Stahlsektion:	0,2 Jahre
Turm ohne die 2 oberen Stahlsektionen:	0,2 Jahre
Turm ohne Stahlsektionen:	0,5 Jahre

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

5.4.7 Die Toleranzen für die Horizontalfuge für die Fertigteilelemente wurden in der statischen Berechnung [1.1.1] Kapitel 2.2 definiert. Die Ermüdungsberechnung wurde jedoch ohne die Berücksichtigung des horizontalen Versatzes geführt. Aus diesem Grund sind die ausgewiesenen Toleranzen nicht zulässig für die Errichtung des Turmes.

5.4.8 Die Vorspannarbeiten am Betonfertigteilturm sind von einer Fachfirma auszuführen, welche für das verwendete Spannverfahren zugelassen ist. Für die Vorspannarbeiten sind die Spannweisung [1.1.31] und [1.1.32] sowie die Anforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [1.2.10] und [1.2.11] zu beachten. Der Spannvorgang ist zu dokumentieren.

5.4.9 Die Bolzen in den Flanschverbindungen und den vertikalen Fugen der Betonsegmente sind gemäß [1.2.7] und [1.2.8] vorzuspannen.

5.4.10 Die 1. Eigenfrequenz des Gesamtsystems aus Turm und Fundament muss im Rahmen der Inbetriebnahme gemessen und dokumentiert werden. Sollte die gemessene 1. Eigenfrequenz außerhalb des im Lastgutachten definierten, zulässigen Bereichs liegen (siehe 4.2), sind weitere Untersuchungen anzustellen.

5.4.11 Beim Betriebsfestigkeitsnachweis der Betonfertigteile wurde ein Betonalter von 120 Tagen zum Zeitpunkt der zyklischen Erstbelastung angenommen.

#### Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.12 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 5.4.13 Die Vorspannkraft der Bolzen muss überprüft und ggf. unter Berücksichtigung der Spezifikationen [1.2.7] und [1.2.8] nachgezogen werden.
- 5.4.14 Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen bei wartungsbedingten Stillstandszeiten (Turm inklusive Gondel und Rotor) wurde für einen Zeitraum von 1,25 Jahre berücksichtigt.
- 5.4.15 Das Spannsystem ist dabei auf Funktionsfähigkeit zu untersuchen. Ferner ist festzustellen, dass keine Korrosionsschutzmasse (insbesondere am Spannanker und an den Umlenkstellen) austritt.

## **6 Auflagen**

### Betonteil

- 6.1 Bei der Herstellung, Ausführung und Aufstellung sämtlicher Betonbauteile sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der DIN 1045-4 zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.
- 6.2 Hebe- und Transportanker für die Betonfertigteile sind gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bzw. gemäß Herstellerangaben einzubauen und zu verwenden. Hierbei sind insbesondere die Zusatzbewehrung, die Mindestabstände und die zulässigen Winkel der Anschlagmittel zu beachten.
- 6.3 Die Fertigteile müssen werksmäßig hergestellt und dabei ständig überwacht werden. Im Rahmen der Reduzierung des Materialteilsicherheitsbeiwertes auf  $\gamma_{C,red} = 1,35$  (s. DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu A.2.3 (1)) muss durch eine Überprüfung der Betonfestigkeit sichergestellt werden, dass Fertigteile mit zu geringer Betonfestigkeit ausgesondert werden.
- 6.4 Die Toleranzen bei der Geometrie der Betonfertigteile, insbesondere bei der Ebenheit der trockenen Horizontalfugen, sind im Rahmen des QM-Systems des Herstellers festzulegen und zu kontrollieren. Fertigteile, welche diesen Anforderungen nicht genügen, sind auszusondern.
- 6.5 Das Vorhaltemaß  $\Delta C_{dev}$  wurde gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP Zu 4.4.1.3 (3) um 5 mm reduziert. Etwaige Zusatzanforderungen, die sich hieraus an die Ausführung bzw. Qualitätsüberwachung ergeben, sind vom Hersteller zu berücksichtigen.

## Stahlteil

6.6 Die Streckgrenzen des Flanschmaterials in Kapitel 4.3 sind zu beachten.

## **7 Zusammenfassung**

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt der hier geprüfte Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

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

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

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

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

Der stellvertretende Leiter

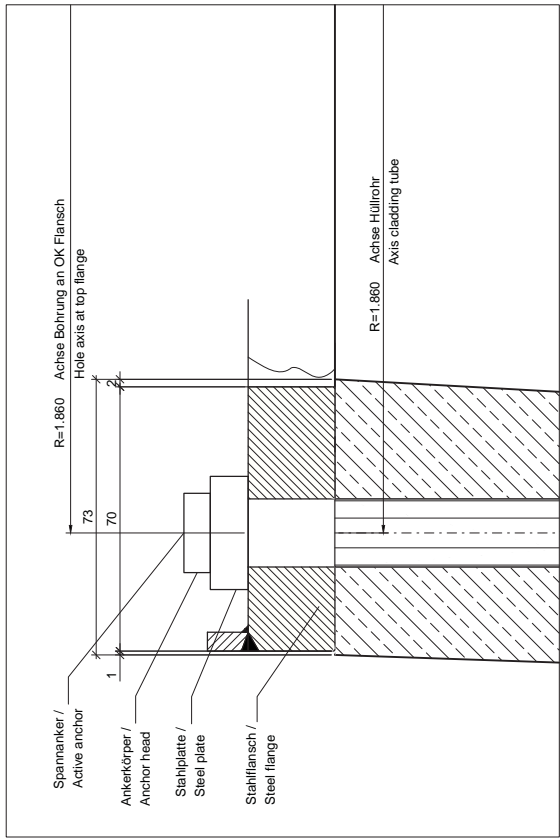


Dipl.-Ing. (FH) S. Möller



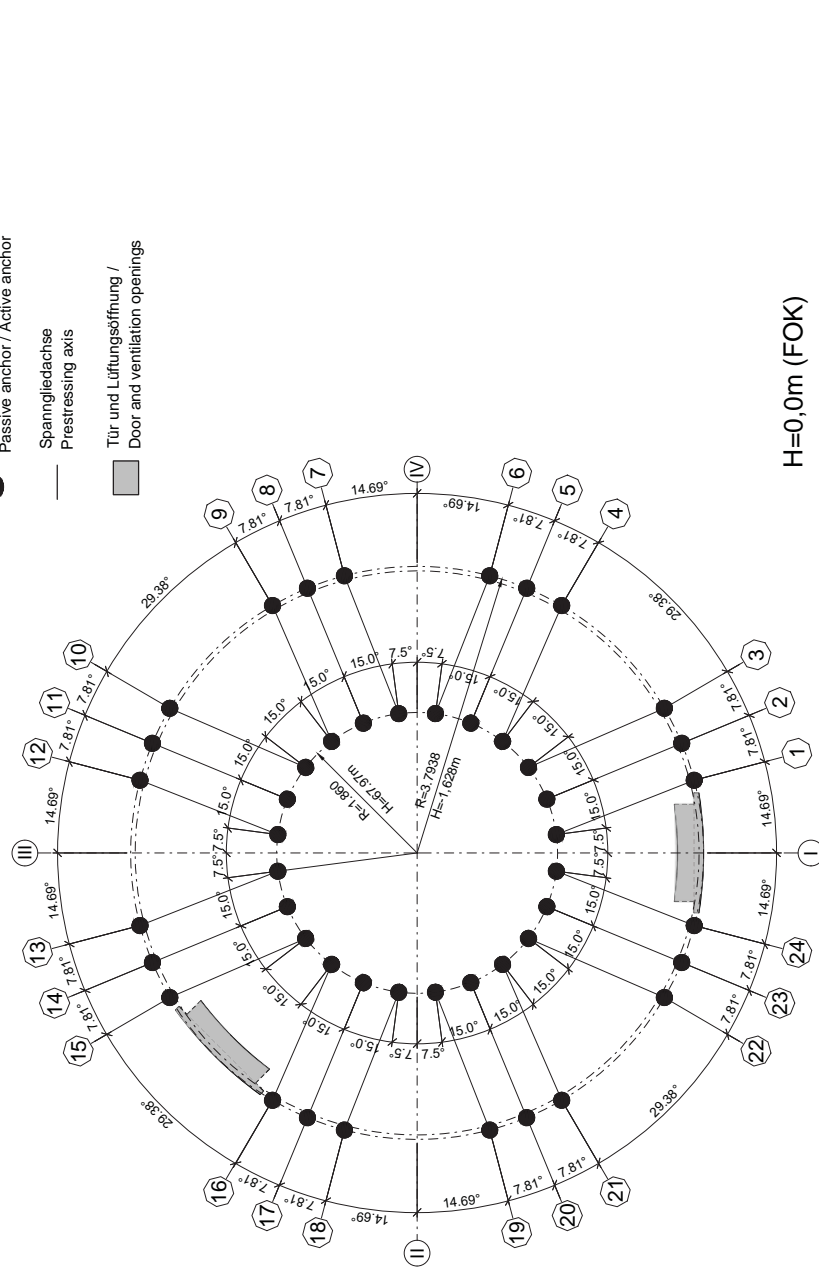
An der Prüfung beteiligt:  
Dipl.-Ing. / M.Sc. U. Lingslebe

Detail 1  
Maßstab / Scale 1:10

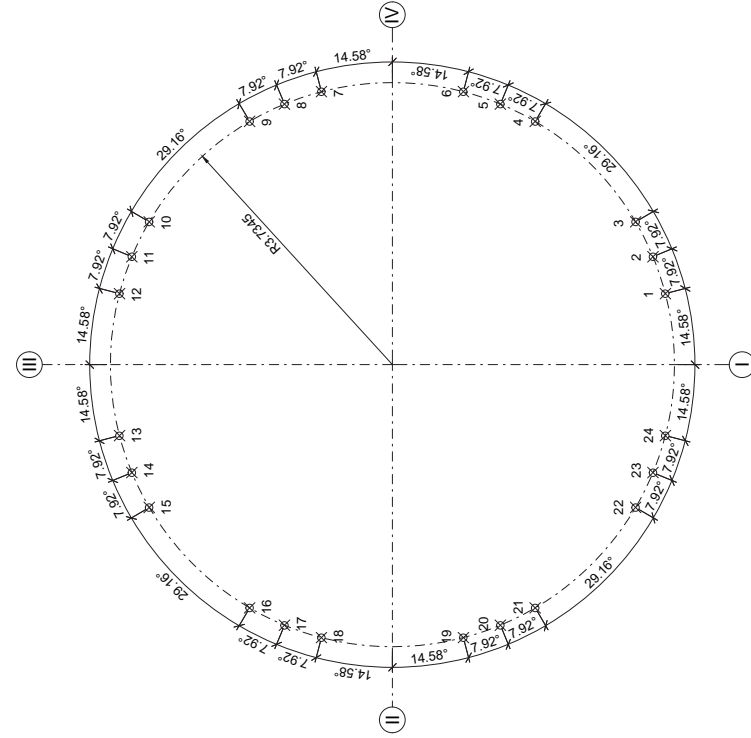


Draufsicht / Top view  
Spanngliedführung / Prestressing tendon layout  
Maßstab / Scale 1:50

- Festanker / Spananker  
Passive anchor / Active anchor
- Spangliedachse  
Prestressing axis
- Tür und Lüftungsöffnung /  
Door and ventilation openings



H=0,0m (FOK)  
Draufsicht / Top view  
Spanngliedachse / Tendon axis  
Maßstab / Scale 1:50



Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung  
Nr.: ..... T-7003/19-1 .....  
vom ..... 12. Sep. 2019 .....



Spannverfahren / Prestressing method		
Hersteller / Manufacturer	BBR VT International Ltd	
Zulassung / Approval	Z-13.3-143 / Z-13.3-110	ETA-10/0065
Spannglied / Prestressing tendon	VT-CMM 04*04-165 KD 1820 1B	BBR VT CONA CMB SF 04*04 06-150 1860 1C
Anzahl und Durchmesser (Querschnitt) pro Spanndrahtlänge / Number and diameter (area) of prestressing steel strand	7x15,2mm (165mm²)	7x15,7mm (150mm²)
Spannstahl / Prestressing steel	St 1600/1820	Y1860 S7
Hüllrohr / cladding tube	Fundament: Rechteckrohr 134x143mm (Innenmaß), t=5 mm Übergangsgesamt: D=180mm, t=6 mm	
Ankerplatte / Anchor plate	Ø310 / 50mm	
Ankerkörper / Anchor head	Ø210 / 70 mm	
Zusatzbewehrung / Additional reinforcement	laut Zulassung acc. to approval	

Dreeskamp 5 26605 Aurich Germany	H.P. Ingenieure GmbH Hegger + Partner Kulmburger Str. 16 53171 Aachen

-1	ENERCON-Anmerkungen vom 21.01.2019	01.02.2019	VV	AN
Index / Index	Änderungen / Changes	Datum / Date	Gez. / Prep.	Gepr. / Rev.

Prüfstempel / Certification stamp  
8115 920 151-6 E Rev. 0  
Structural Design Evaluated

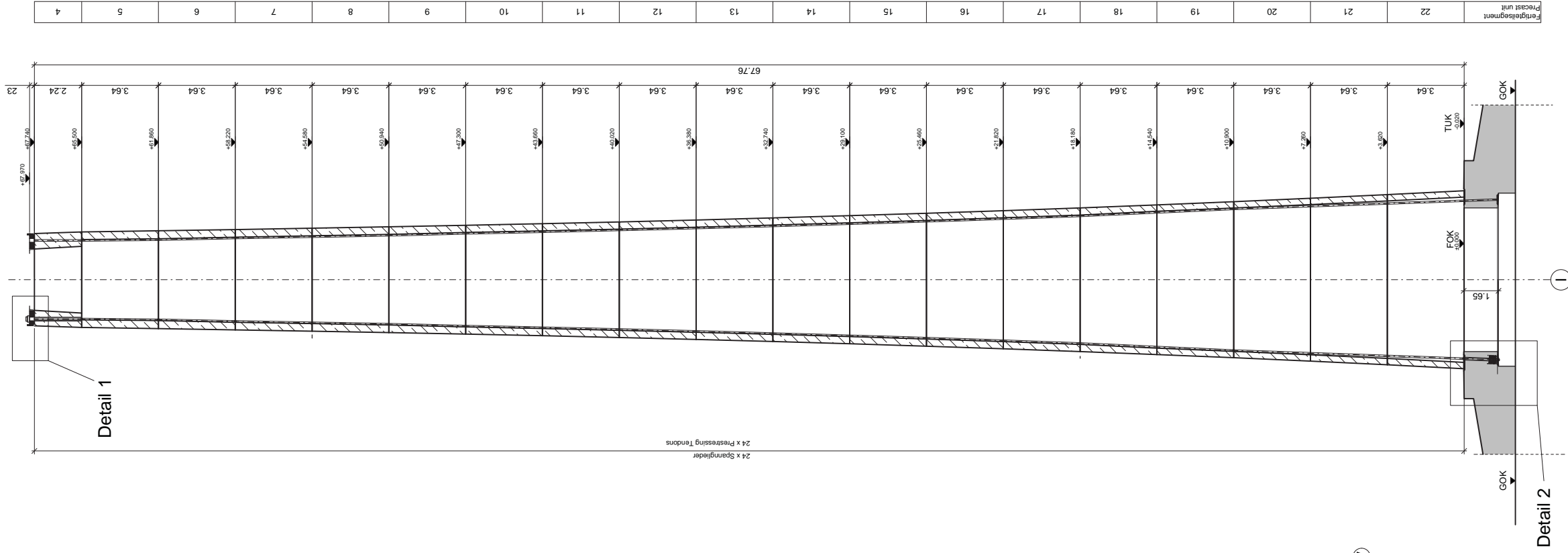
U. Lingslebe

Expert  
TÜV NORD CERT GmbH

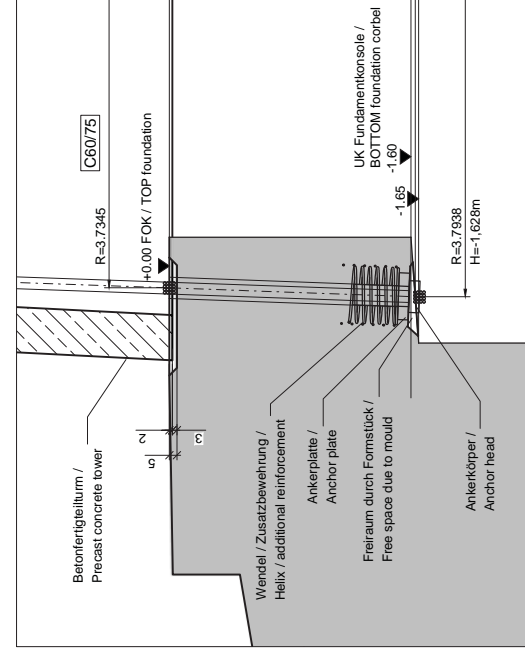
Planinhalt / Content:  
**Übersicht Spanngliedführung**  
Prestressing tendon layout general arrangement  
**E-138 EP3-HT-131-ES-C-02**

Gezeichnet / Prepared 09.10.2018 AH	Geprüft / Reviewed 09.10.2018 AN	Freigegeben / Approved 09.10.2018 CG
Maßstab / Scale wie angezeigt / as shown	Plan-Nr. / Plan-no.: D0691959-1	Blattgröße / Sheet size DIN A0 Projekt-Nr. / Project-no. E18-023

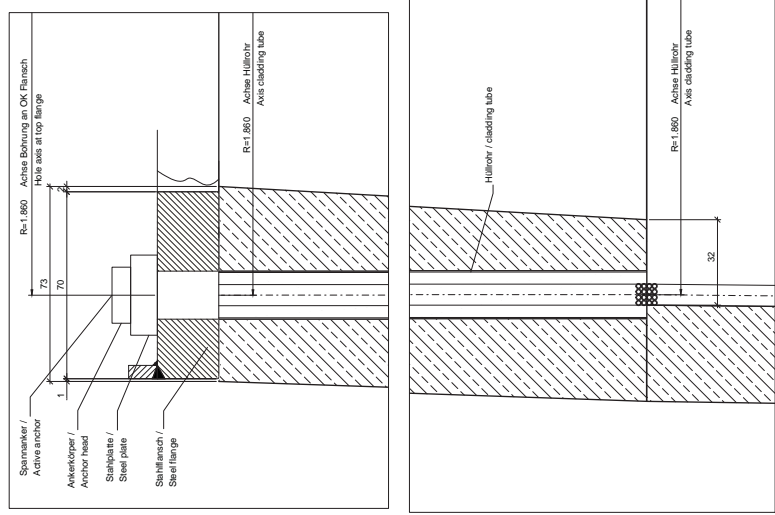
1:120



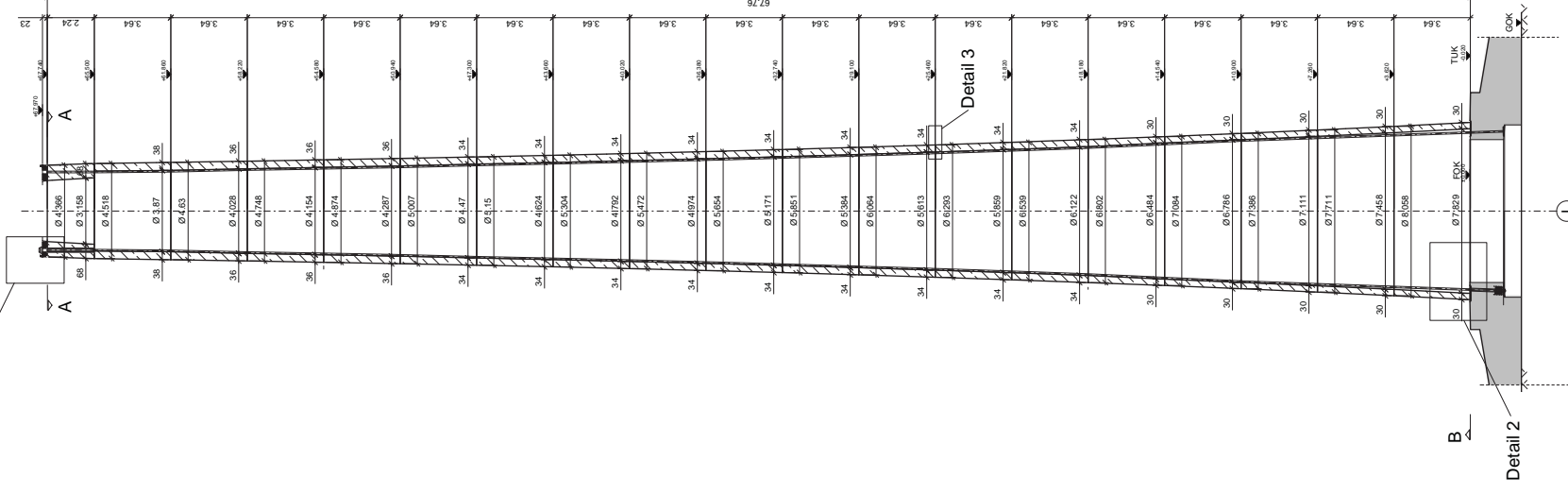
Detail 2  
Maßstab / Scale 1:25



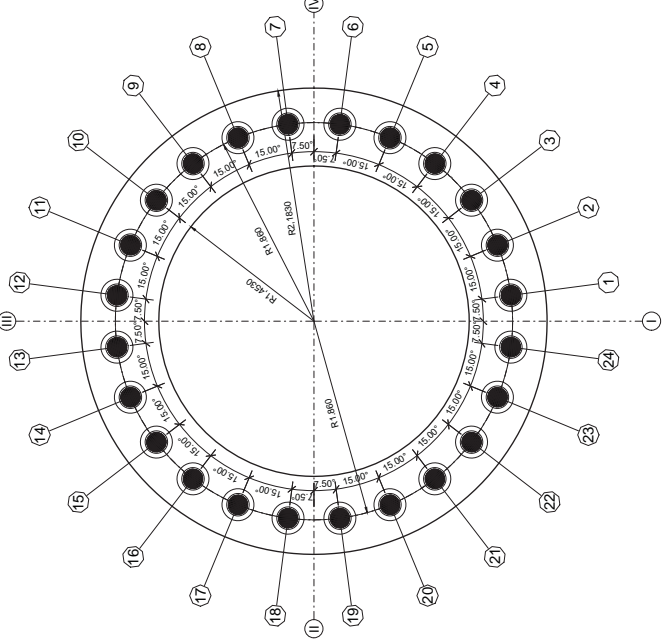
Detail 1  
Maßstab / Scale 1:10



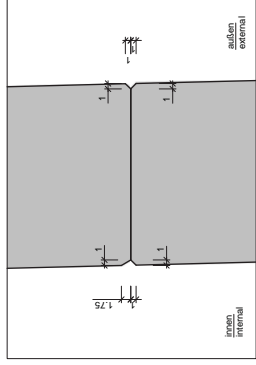
Detail 1  
1:120



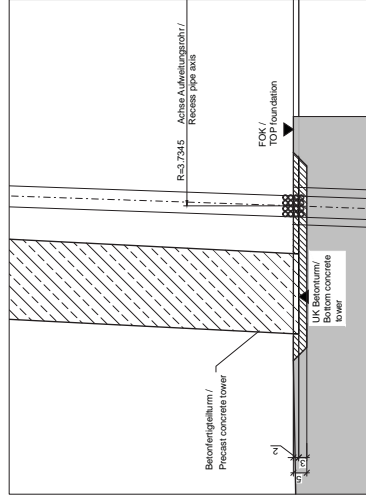
Schnitt / Section A-A  
Oberkante Betonurm / TOP concrete tower  
Maßstab / Scale 1:25



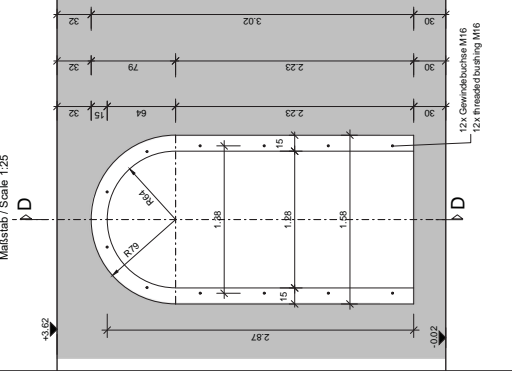
Detail 3  
Maßstab / Scale 1:5



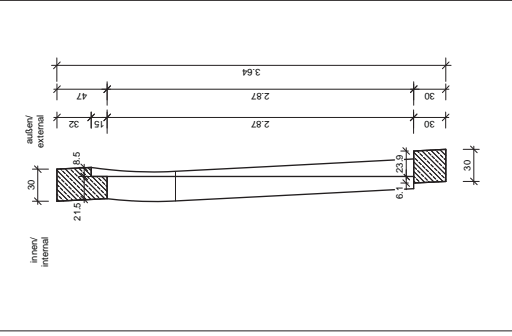
Detail 2  
Maßstab / Scale 1:10



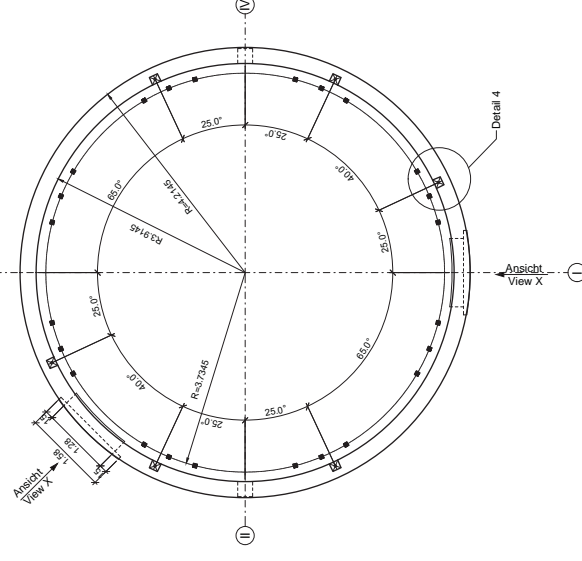
Außenansicht / Exterior view X  
Tur / Door  
Maßstab / Scale 1:25



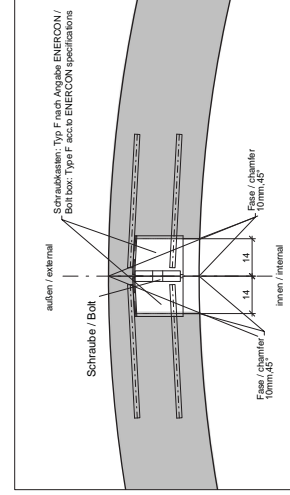
Schnitt / Section D-D  
Maßstab / Scale 1:25



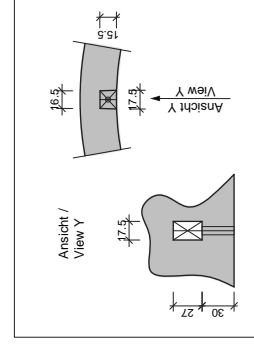
Schnitt / Section B-B  
Turmfuß / Tower base  
Maßstab / Scale 1:50



Vertikalfuge / Vertical joint  
Schraubkasten Typ F / Bolt box Type F  
Maßstab / Scale 1:10



Detail 4  
Ausparung für Segmentverleerung  
Pocket for segment leveling  
Maßstab / Scale 1:25

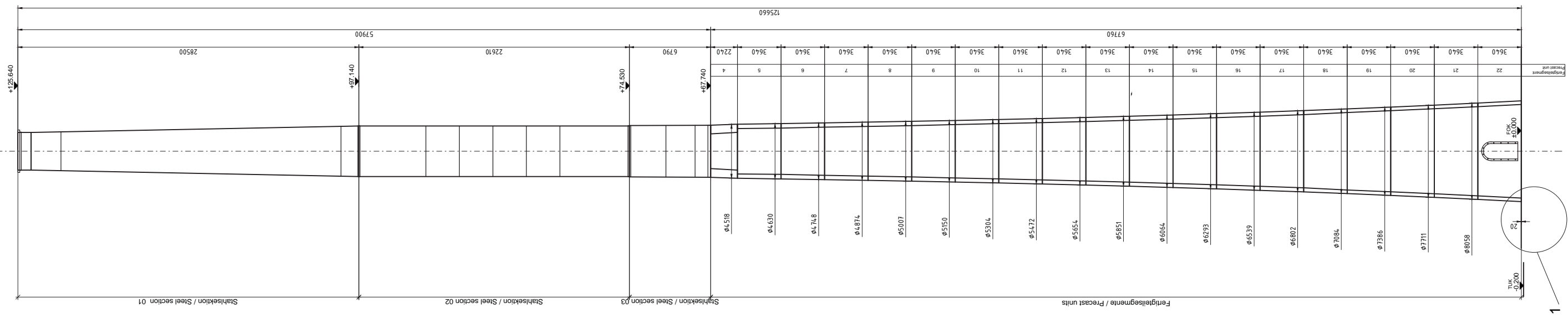


Spannverfahren / Prestressing method	
Hersteller / Manufacturer	BBR VT International Ltd
Zulassung / Approval	Z-13.3-143 / Z-13.3-110 ETA-10/0065
Spannglied / Prestressing tendon	VT-CM3 04-04-165 BBR VT CONA CM3 KD 1820 1B SP 04-04 06-150 1860 1C
Spannstahl / Prestressing steel	7x15,2mm (165mm <sup>2</sup> ) 7x15,7mm (150mm <sup>2</sup> )
Hülzchen / Cladding tube	SR 1600/1820 Y1860 SF
Ankerkopf / Anchor head	Fundament: Rechtedrohr 13x143mm (innen), 1x5 mm Übergangsgewinde: D=180mm, l=5 mm
Zusätzliche Bewehrung / Additional reinforcement	Ø310 / 50mm Ø210 / 75 mm scc. to approval

Hersteller / Manufacturer	ENERCON GmbH Draehung 5 26605 Aurich Germany	Hersteller / Manufacturer	HP Hegger + Partner
Produkt / Product	8115 S20 T514-E Rev. 0 Structural Design Evaluation	Produkt / Product	PRESTRESSING FOR CONCRETE TUV NORD CERT
U. Lingshebe	Expert TUV NORD CERT GmbH	U. Lingshebe	Expert TUV NORD CERT GmbH
Projekt / Project	Schalplan Betonfertigteilturm Shuttering plan precast concrete tower	Projekt / Project	Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung T-7003/19-1
Genehmigt / Approved	09.10.2018 AH	Genehmigt / Approved	09.10.2018 JH
Wird / Size	wie angezeigt / as shown	Wird / Size	wie angezeigt / as shown
Wie / Code	DO691960-1	Wie / Code	DIN A0
Projekt / Project	09.10.2018 CG	Projekt / Project	E18-023

1:175



Stahlsektionen / Steel sections		
Lfd. Nr./ Serial no.	Plan-Nr. / Plan-no.	Planinhalt / content
1	D0691927-2	28,5m Stahlsektion Statik 28,5m Steel section structural drawing
2	D0691928-2	22,61m Stahlsektion Statik 22,61m Steel section structural drawing
3	D0691929-2	6,79m Stahlsektion Statik 6,79m Steel section structural drawing

Übersichtspläne / Overview plans		
Lfd. Nr./ Serial no.	Plan-Nr. / Plan-no.	Planinhalt / content
1	D0691959-1	Übersicht Spannngliedführung Prestressing tendon layout general arrangement
2	D0691960-1	Schalplan_Betonfertigteilturn Shuttering plan precast concrete tower
3	D0691961-1	Zusammenstellung Turm Statik Tower summary structural drawing

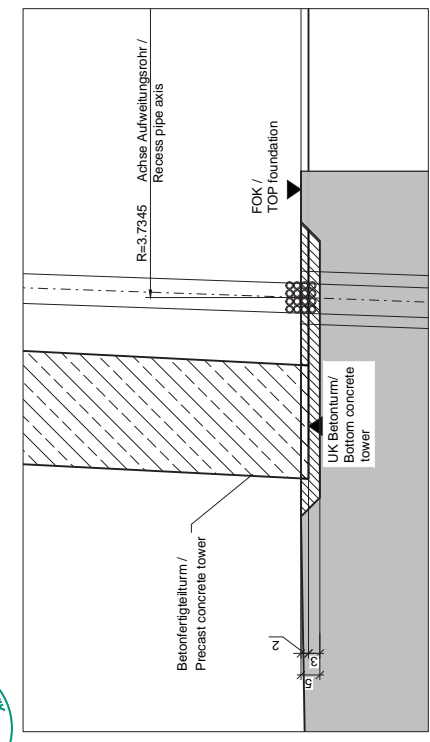
Fertigteilesegmente / Precast units B500B $\phi 14$		
Lfd. Nr./ Serial no.	Plan-Nr. / Plan-no.	Segment Nr. / Precast unit no.
1	D0691931-1	101-Seg 04-SP08
2	D0691932-1	101-Seg 05-SP09
3	D0691933-1	101-Seg 06-SP11
4	D0691934-1	101-Seg 07-SP08
5	D0691935-1	101-Seg 08-SP08
6	D0691936-1	101-Seg 09-SP08
7	D0691937-1	101-Seg 10-SP08
8	D0691938-1	101-Seg 11-SP09
9	D0691939-1	101-Seg 12-SP09
10	D0691940-1	101-Seg 13-SP09
11	D0691941-1	101-Seg 14-SP10
12	D0691942-1	101-Seg 15-SP09
13	D0691943-1	101-Seg 16-SP09
14	D0691944-1	101-Seg 17-SP12
15	D0691945-1	101-Seg 18-SP08
16	D0691946-1	101-Seg 19-SP08
17	D0691947-1	101-Seg 20-SP08
18	D0691948-1	101-Seg 21-SP07
19	D0691949-1	101-Seg 22-SP06

Turmhöhe über OK Fundament Tower height over TOP foundation	125,640m
Turmhöhe über OK Gelände Tower height over top ground	128,190m
Nabenhöhe über OK Gelände Hub height over top ground	130,025m

FOK: Fundamentoberkante / TOP foundation  
GOK: Geländeoberkante / TOP ground  
TUK: Turmunterkante / Tower bottom edge

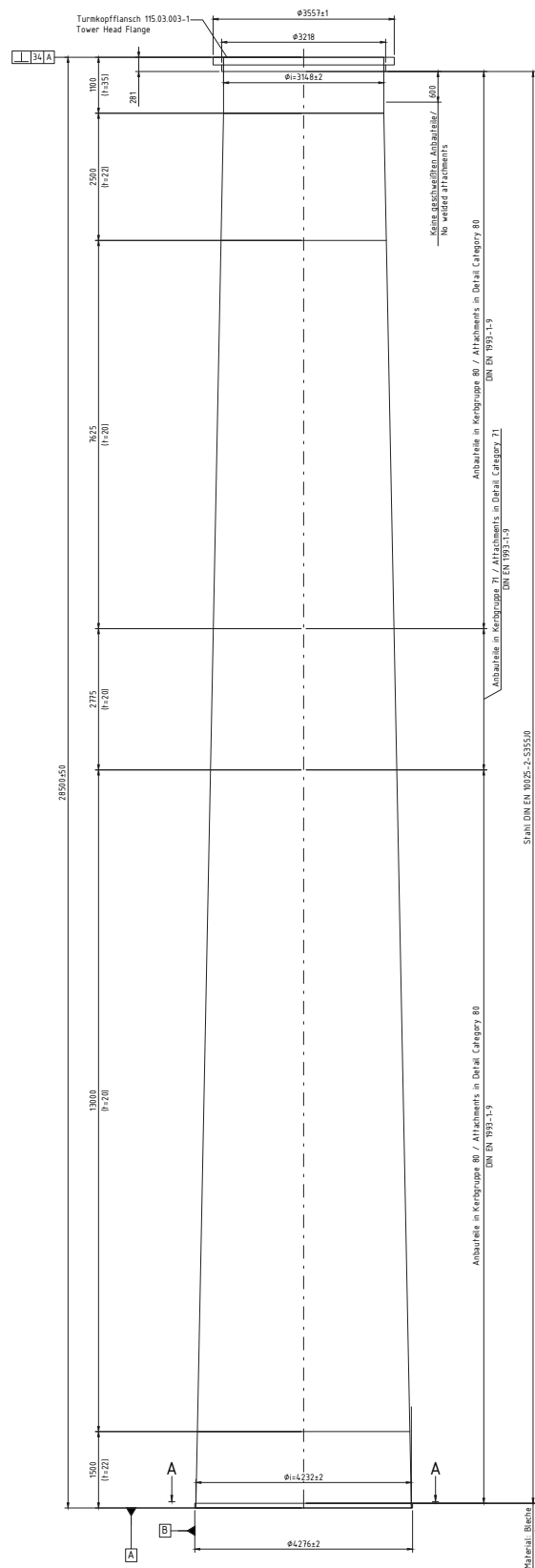
Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung  
Nr.: T-7003/19-1  
vom 12. Sep. 2019

Detail 1  
Maßstab / Scale 1:10

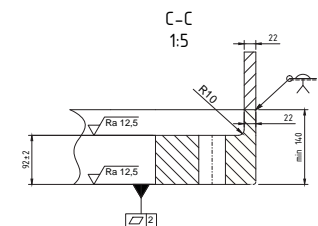
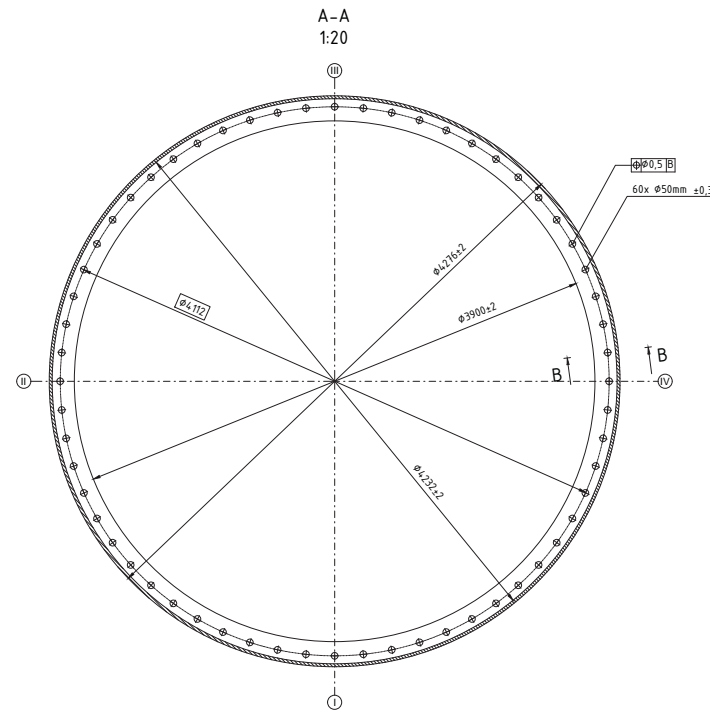


Dreeskamp 5 26605 Aurich Germany		H.P. Ingenieure GmbH Hegger + Partner Kaiserstraße 11 13073 Berlin	
-1 ENERCON-Anmerkungen vom 21.01.2019			
Index / Index	Änderungen / Changes	Datum / Date	Gez. / Rev.
		01.02.2019	VV AN
Prüfstempel / Certification stamp 8115 920 151-6 E Rev. 0 Structural Design Evaluated  U. Lingsiebe			
Planinhalt / Content: <b>Zusammenstellung Turm Statik</b> Tower summary structural drawing <b>E-138 EP3-HT-131-ES-C-02</b>			
Gezeichnet / Prepared	Geprüft / Reviewed	Freigegeben / Approved	
26.09.2018 AH	26.09.2018 AN	26.09.2018 CG	
Maßstab / Scale	Plan-Nr. / Plan-no.	Blattgröße / Sheet size	Projekt-Nr. / Project-no.
wie angezeigt / as shown	D0691961-1	DIN A1	E18-023



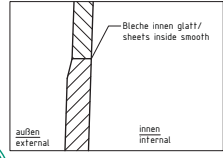


60x Garnitur Schraube / Mutter  
 DAST-Riil 021 M48x255-10.9/10-HV-12n  
 120x Scheibe DAST-Riil 021-4.8-300 HV-12n  
 k-Klasse: k1  
 60x Assembly Bolt / Nut  
 DAST-Riil 021 M48x255-10.9/10-HV-12n  
 120x Washer DAST-Riil 021-4.8-300 HV-12n  
 k-class: k1



<p><b>Spezifikationen:</b>                  -ENERCON - Spezifikationen sind zu berücksichtigen.                  -Normen sind in ihrer aktuellen Fassung zu verwenden</p>	<p><b>Specifications:</b>                  -ENERCON specifications are to be adhered to.                  -Standards have to be considered in their current version.</p>
<p><b>Toleranzen:</b>                  Grundlegende Toleranzanforderungen in Ausführungsklasse EXC3 nach DIN EN 1090-2                  Toleranzanforderungen für das Turmblech in Qualitätsklasse B nach DIN EN 1090-2, Tabelle B.11                  Toleranzen für Blechdicke nach DIN EN 10029, Klasse B                  Ebenheitsabweichung für die Kontaktfläche der Flansche zwischen Stahlsektionen:                  -max. 2,0mm über den gesamten Umfang                  -max. 1,0mm über ein Segment von 30°</p>	<p><b>Tolerances:</b>                  Basic tolerance requirements in execution class EXC3 according to DIN EN 1090-2                  Tolerance requirements for the tower plates in quality class B according to DIN EN 1090-2, Table B.11                  Tolerance requirements for plate thickness according to DIN EN 10029, class B                  Flatness deviation for the contact surface of the flanges between steel sections:                  -max. 2.0mm around the complete perimeter                  -max. 1.0mm over an angle of 30°</p>
<p><b>Korrosionsschutz:</b>                  Korrosionsschutz nach DIN EN ISO 12944-5:                  -Turmwand außen: C3 - hoch                  -Turmwand innen: C3 - hoch</p>	<p><b>Corrosion protection:</b>                  Corrosion protection according to DIN EN ISO 12944-5:                  -Tower wall external: C3 - high                  -Tower wall internal: C3 - high</p>
<p><b>Schweißnähte:</b>                  Herstellerqualifikation für das Schweißen Klasse EXC3 nach DIN EN 1090-2:                  Schweißnähte (auch an Anbauteilen) in Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817.                  Schweißnahtvorbereitung je nach Schweißverfahren nach EN ISO 9692.                  Bleche von Flanschen und Zargen sind vor dem Schweißen auf 2100°C vorzuwärmen:                  -Werkstoff S235: Blechdicke ≥45mm                  -Werkstoff S275: Blechdicke ≥30mm                  -Werkstoff S355: Blechdicke ≥30mm                  Anforderungen für Stumpfnahte:                  - Alle Schweißnähte sind durch- und gegengeschweißte Schweißnähte.                  - Neigungswinkel maximal 1/4.                  - An Stößen mit einer Blechdickendifferenz größer 4mm ist der Anschluss mit der Neigung 1/4 anlassen.                  - Nähte in Wannenlage schweißen.                  - Ohne Ansatzstellen.                  - Nahtüberhöhung nicht größer als 10% der Nahtbreite.                  - Verlaufender Übergang in der Blechoberfläche.                  - Der lichte Mindestabstand aller einzuschweißenden Anbauteile (außer Türzarge und Lüftungszargen) zu Schweißnähten und Bohrungen des Stahlmantels beträgt mindestens 100mm.</p>	<p><b>Welded seams:</b>                  Manufacturer's qualification for welding class EXC3 according to DIN EN 1090-2.                  Welds (also for attachments) in quality level B according to DIN EN ISO 5817.                  Weld preparation depending on welding process according to EN ISO 9692.                  Plates from flanges and frames have to be preheated to 2100°C before welding:                  -Material S235: plate thickness ≥45mm                  -Material S275: plate thickness ≥30mm                  -Material S355: plate thickness ≥30mm                  Requirements for butt welds:                  - All weld seams are full penetration with back-welding.                  - Slope maximal 1/4.                  - At junctions with a plate thickness difference greater than 4mm the joint is to be chamfered with a slope 1/4.                  - Welds made in flat position.                  - No stop/start positions.                  - The height of the weld convexity to be not greater than 10% of the weld width.                  - Smooth transition to the plate surface.                  - Minimum clear distance of all welded attachments (except for door frame and ventilation frames) to other welds and bores at the tower wall is 100mm.</p>
<p><b>Material:</b>                  Ultraschallprüfung hinsichtlich Doppelgutfreiheit:                  * für Bleche (Turmwand, Zargen Rahmen, Ankerplatten, Flansche) nach DIN EN 10160, in Klasse S1/E1.                  * für Schmiedestücke nach DIN EN 10228-3, in Klasse 3.                  Abnahmeprotokoll nach DIN EN 10204 für Werkstoff.</p>	<p><b>Material:</b>                  Ultrasonic material test for internal discontinuities:                  * for steel plates (tower shell, frames, surrounds, anchor plates, flanges) according to DIN EN 10160, in class S1/E1                  * for forgings according to DIN EN 10228-3, in class 3.                  Inspection certificate 3.1 according to DIN EN 10204 for material.</p>
<p><b>Flansch:</b>                  Kerngruppe 140 nach DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.1, Konstruktionsdetail 4                  - Flansch Ø4276: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (geschmiedet, nahtlos)</p>	<p><b>Flange:</b>                  Noth category 140 acc. DIN EN 1993-1-9, table 8.1, construction detail 4                  - flange Ø4276: steel DIN EN 10025-3-S355N (forged, weldless)</p>
<p><b>Schraubverbindungen:</b>                  M48-10.9 HV-Garnitur nach DAST-Riil 021- Vorspannkraft 930 kN</p>	<p><b>Bolted joints:</b>                  M48-10.9 HV- Assembly according to DAST-Riil 021 - Pre-tension force 930 kN</p>

Blechstöße Turmschale / welding of tower plates



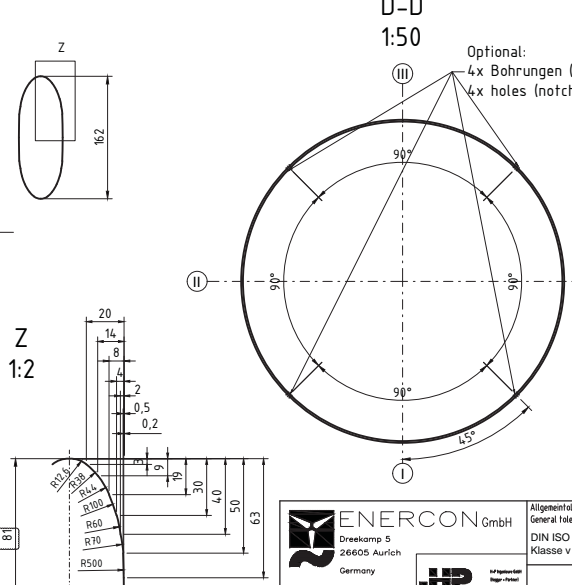
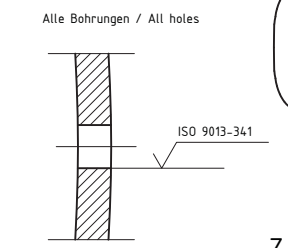
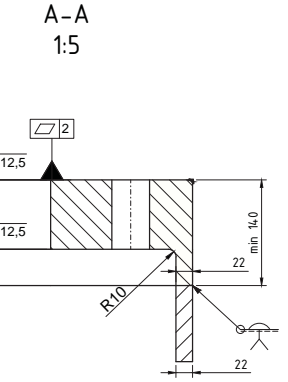
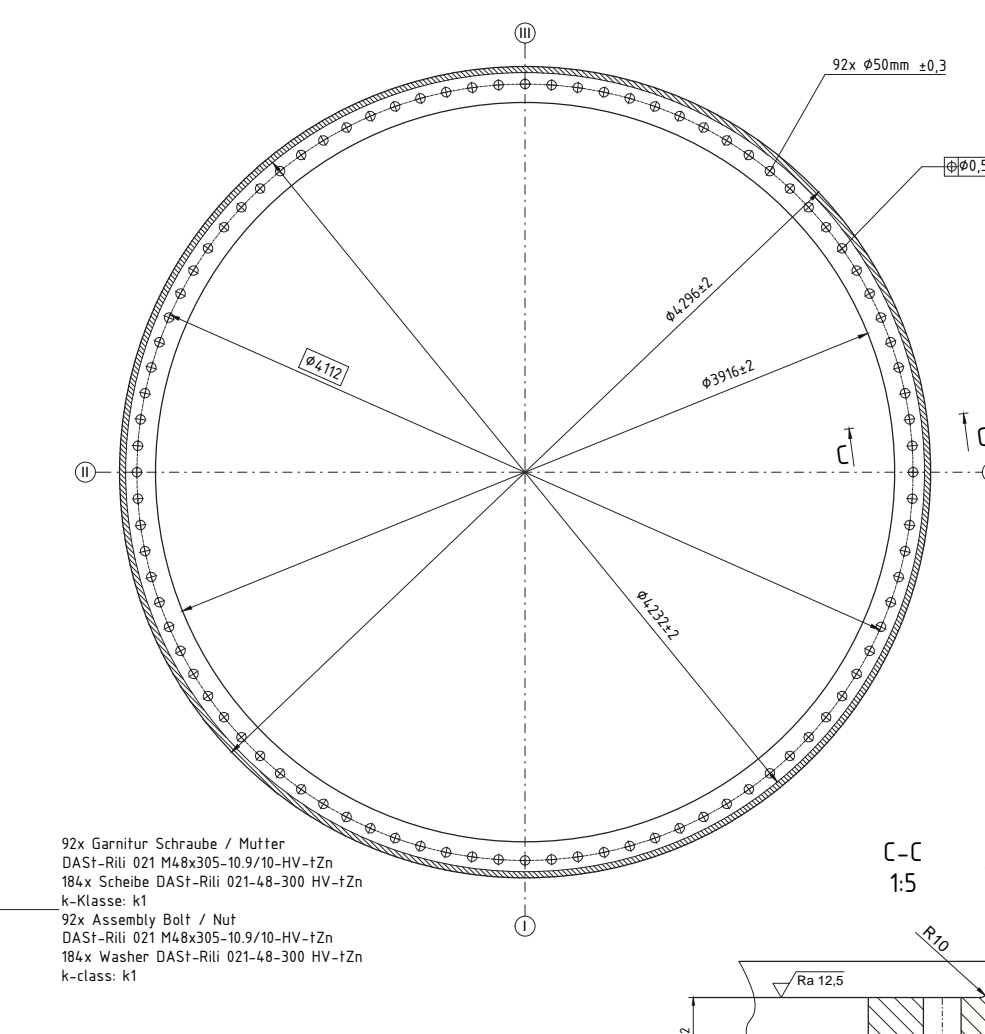
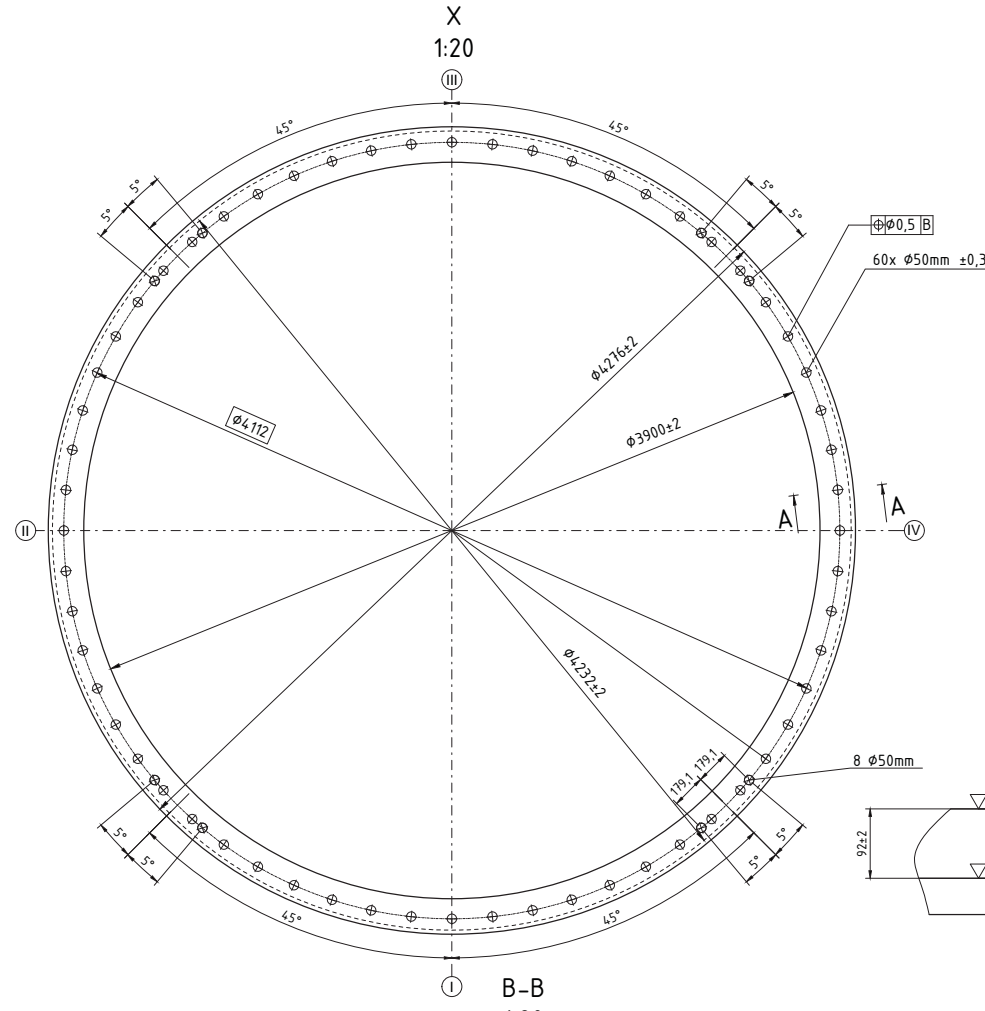
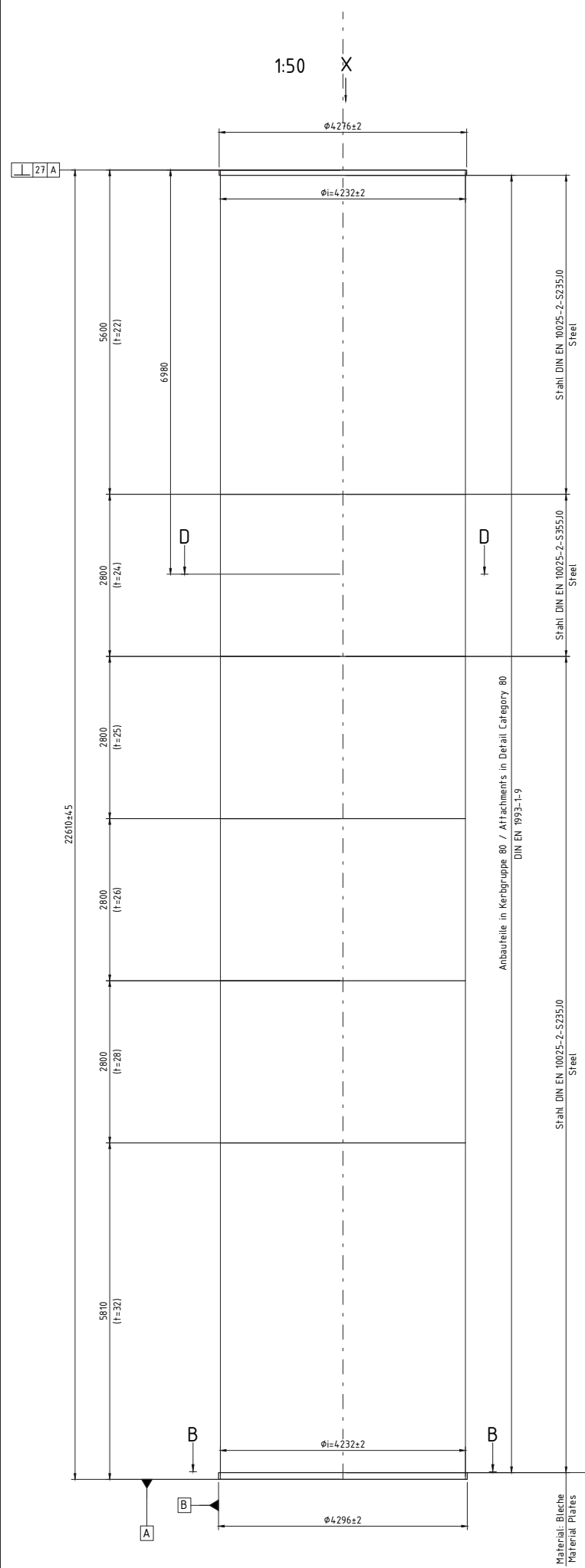
8115 920 191-8 E Rev. 0  
 Structural Design Evaluated  
 TÜV NORD CERT  
 U. Lingelbe  
 TÜV NORD CERT GmbH  
 2019-03-15

PREMIUM FÜR BAUWERKE  
 TÜV NORD CERT  
 COOPERATIONSPARTNER


Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung  
 Nr.: T-7003/19-1  
 vom 12. Sep. 2019

ISO 13715  
 Kante/edge

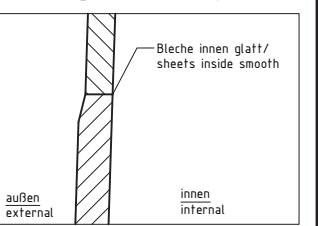
<p><b>ENERCON GmbH</b>                  Dreesweg 5                  44099 Aachen                  Germany</p>		<p>Eigenverantwortung                  General Manager                  DIN ISO 27001                  Klasse V / Class V</p>	<p>Überfläche                  DIN EN ISO 12944</p>	<p>Anwesenheit / Inspection                  28,5m Stahlsektion Statik                  28.5m steel section structural drawing</p>
<p>gezeichnet / prepared                  12.07.2018 AH</p>	<p>geprüft / reviewed                  12.07.2018 AN</p>	<p>Freigegeben / approved                  12.07.2018 GO</p>		
<p>2 08.11.2018 AH AN                  Text: Toleranzen, Korrosionsschutz</p>	<p>Projekt Nr. / project no.                  E18-023</p>	<p>Plan-Nr. / plan no.                  D0691927-2</p>	<p>Skizze / sketch                  DIN A0</p>	<p>Revisur / revision                  01</p>



<b>Spezifikationen:</b> -ENERCON - Spezifikationen sind zu berücksichtigen. -Normen sind in ihrer aktuellen Fassung zu verwenden	<b>Specifications:</b> -ENERCON specifications are to be adhered to. -Standards have to be considered in their current version.
<b>Toleranzen:</b> Grundlegende Toleranzanforderungen in Ausführungsklasse EXC3 nach DIN EN 1090-2 Toleranzanforderungen für das Turmblech in Qualitätsklasse B nach DIN EN 1090-2, Tabelle B.11 Toleranzen für Blechdicke nach DIN EN 10029, Klasse B Ebenheitsabweichung für die Kontaktfläche der Flansche zwischen Stahlsektionen: -max. 2,0mm über den gesamten Umfang -max. 1,0mm über ein Segment von 30°	<b>Tolerances:</b> Basic tolerance requirements in execution class EXC 3 according to DIN EN 1090-2 Tolerance requirements for the tower plates in quality class B according to DIN EN 1090-2, Table B.11 Tolerance requirements for plate thickness according to DIN EN 10029, class B. Flatness deviation for the contact surface of the flanges between steel sections: -max. 2,0mm around the complete perimeter -max. 1,0mm over an angle of 30°
<b>Korrosionsschutz:</b> Korrosionsschutz nach DIN EN ISO 12944-5: -Turmwand außen: C5 - hoch -Turmwand innen: C3 - hoch	<b>Corrosion protection:</b> Corrosion protection according to DIN EN ISO 12944-5: -Tower wall external: C5 - high -Tower wall internal: C3 - high
<b>Schweißnähte:</b> Herstellerqualifikation für das Schweißen Klasse EXC3 nach DIN EN 1090-2. Schweißnähte (auch an Anbauteilen) in Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817. Schweißnahtvorbereitung je nach Schweißverfahren nach EN ISO 9692.	<b>Welded seams:</b> Manufacturer's qualification for welding class EXC3 according to DIN EN 1090-2. Welds (also for attachments) in quality level B according to DIN EN ISO 5817. Weld preparation depending on welding process according to EN ISO 9692.
Bleche von Flanschen und Zargen sind vor dem Schweißen auf $\geq 100^\circ\text{C}$ vorzuwärmen: -Werkstoff S235: Blechdicke $\geq 45\text{mm}$ -Werkstoff S275: Blechdicke $\geq 30\text{mm}$ -Werkstoff S355: Blechdicke $\geq 30\text{mm}$ <b>Anforderungen für Stumpfnähte:</b> - Alle Schweißnähte sind durch- und gegengeschweißte Schweißnähte. - Neigungswinkel maximal 1/4. - An Stößen mit einer Blechdickendifferenz größer 4mm ist der Anschluss mit der Neigung 1/4 anfasen. - Nähte in Wannenlage schweißen. - Ohne Ansatzstellen. - Nahtüberhöhung nicht größer als 10% der Nahtbreite. - Verlaufender Übergang in der Blechoberfläche. - Der lichte Mindestabstand aller einzuschweißenden Anbauteile (außer Türzarge und Lüftungszargen) zu Schweißnähten und Bohrungen des Stahlmantels beträgt mindestens 100mm.	<b>Requirements for butt welds:</b> - All weld seams are full penetration with back-welding. - Slope maximal 1/4. - At junctions with a plate thickness difference greater than 4mm the joint is to be chamfered with a slope 1/4. - Welds made in flat position. - No stop/start positions. - The height of the weld convexity to be not greater than 10% of the weld width. - Smooth transition to the plate surface. - Minimum clear distance of all welded attachments (except for door frame and ventilation frames) to other welds and bores at the tower wall is 100mm.
<b>Material:</b> Ultraschallprüfung hinsichtlich Dopplungsfreiheit: * für Bleche (Turmwand, Zargen Rahmen, Ankerplatten, Flansche) nach DIN EN 10160, in Klasse S1/E1. * für Schmiedestücke nach DIN EN 10228-3, in Klasse 3. Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 für Werkstoff.	<b>Material:</b> Ultrasonic material test for internal discontinuities: * for steel plates (tower shell, frames, surrounds, anchor plates, flanges) according to DIN EN 10160, in class S1/E1 * for forgings according to DIN EN 10228-3, in class 3. Inspection certificate 3.1 according to DIN EN 10204 for material.
<b>Flansch:</b> Kerbgruppe 140 nach DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.1, Konstruktionsdetail 4 - Flansch Ø4276: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (geschmiedet, nahtlos) - Flansch Ø4296: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (geschmiedet, nahtlos)	<b>Flange:</b> Notch category 140 acc. DIN EN 1993-1-9, table 8.1, construction detail 4 - flange Ø4276: steel DIN EN 10025-3-S355N (forged, weldless) - flange Ø4296: steel DIN EN 10025-3-S355N (forged, weldless)
<b>Schraubverbindungen:</b> M48-10.9 HV-Garnitur nach DAST-Rili 021 - Vorspannkraft 930 kN	<b>Bolted joints:</b> M48-10.9 HV- Assembly according to DAST-Rili 021 - Pre-tension force 930 kN
<b>Bohrungen in der Turmwand:</b> - Maschinell brenngeschmittener Werkstoff mit nachträglicher mechanischer Bearbeitung. - Alle sichtbaren Randkerben sind zu beseitigen, Schnittflächen zu überschleifen und Kanten zu brechen. - Der Startpunkt beim autogenen Brennschneiden ist nicht auf der Kontur selber zu wählen. - Keine Ausbesserungen durch Verfüllen mit Schweißgut.	<b>Holes in the tower shell:</b> - Machine gas cut and additional mechanical processing. - All visible signs of edges discontinuities have to be removed, cutting areas to be ground and chamfered. - Starting spot of thermal cutting shall be not on contour itself. - No repair by weld or refill.

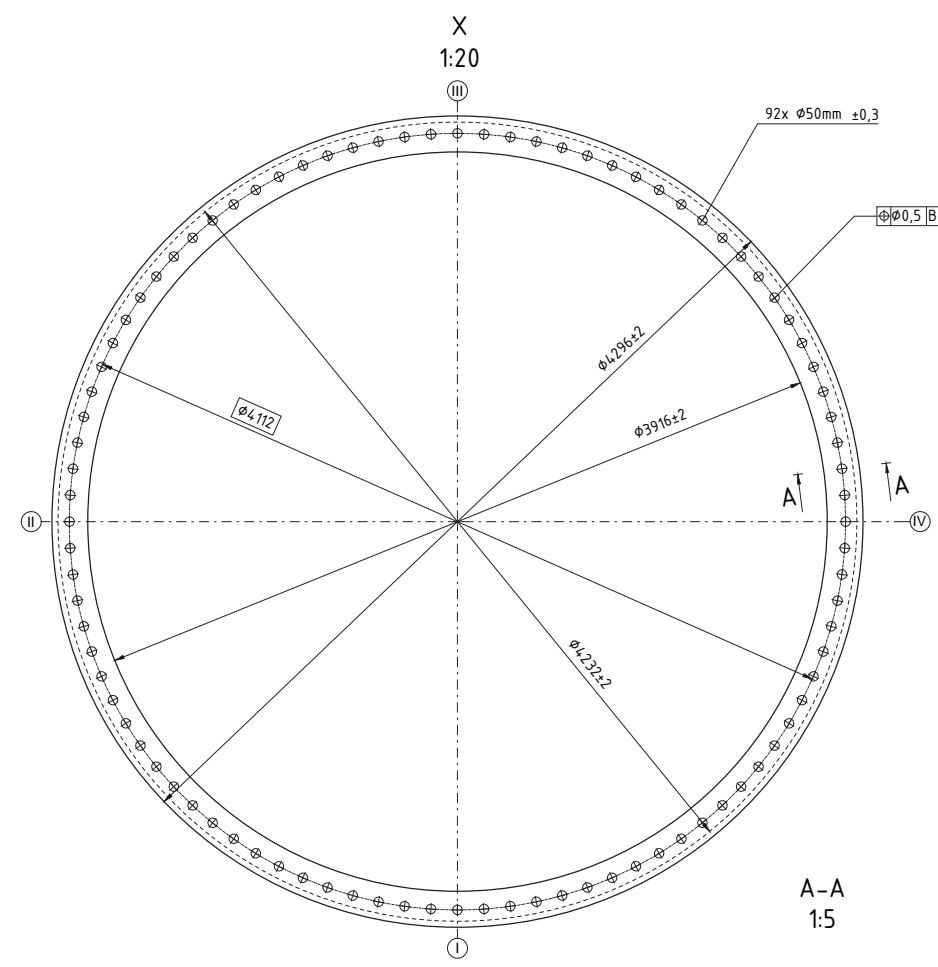
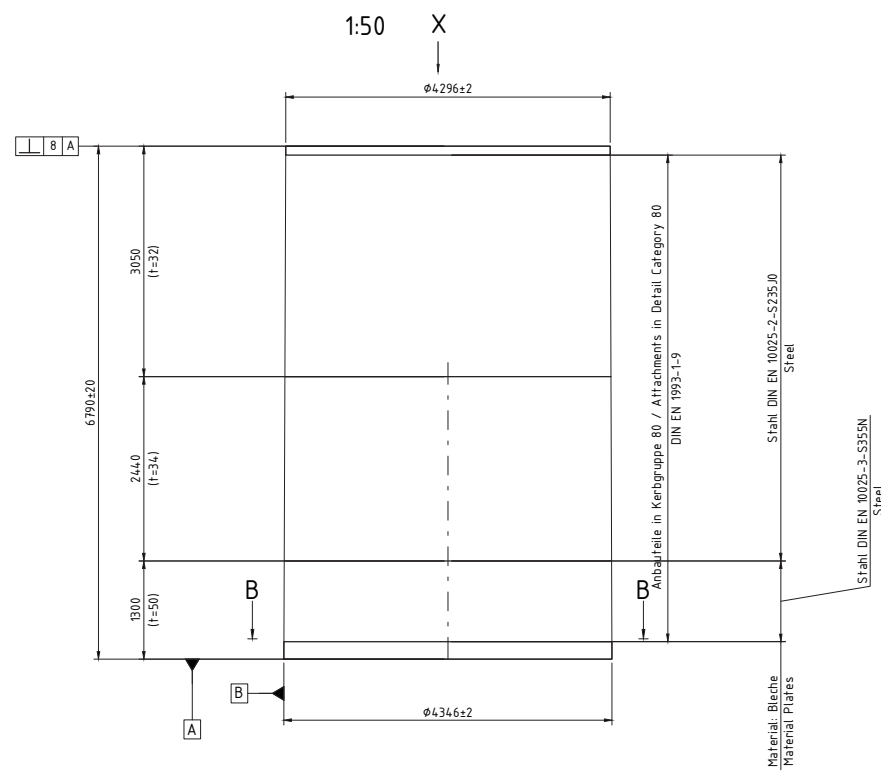

 Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung  
 Nr.: ..... T-7003/19-1 .....  
 vom ..... 12. Sep. 2019 .....

**Blechstöße Turmschale / welding of tower plates**

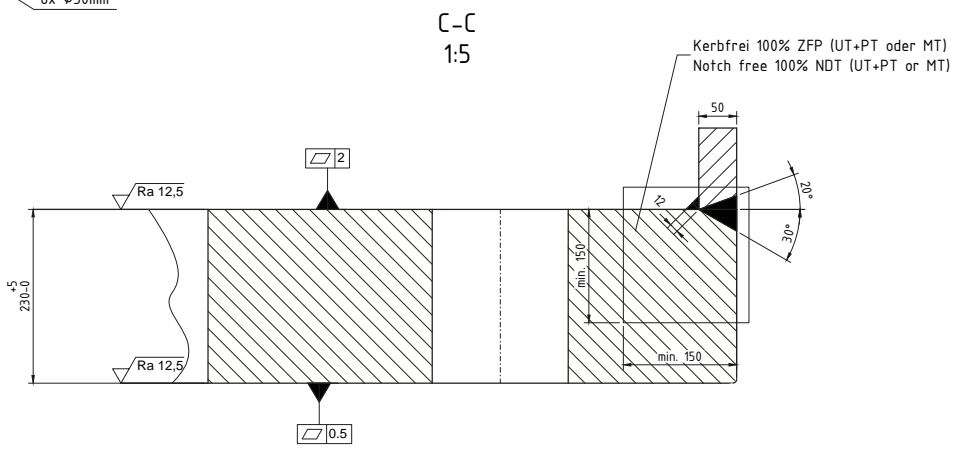
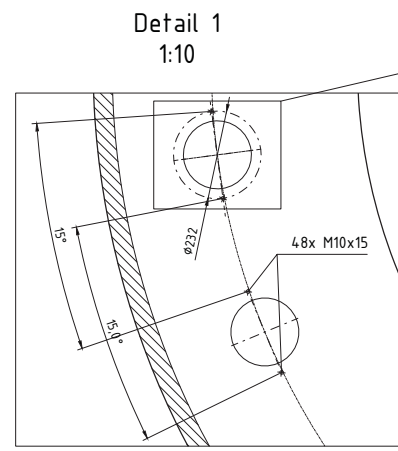
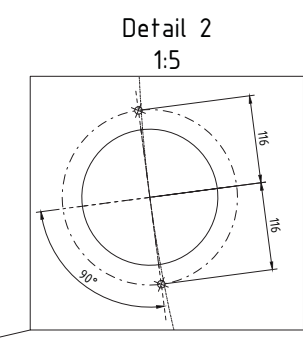
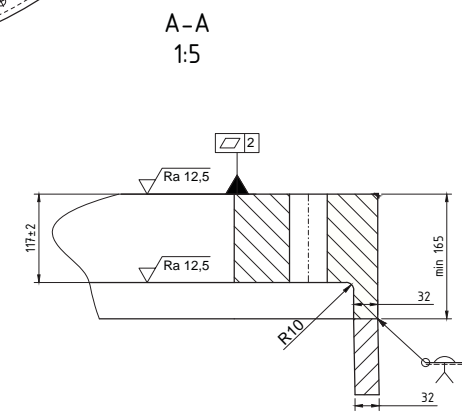
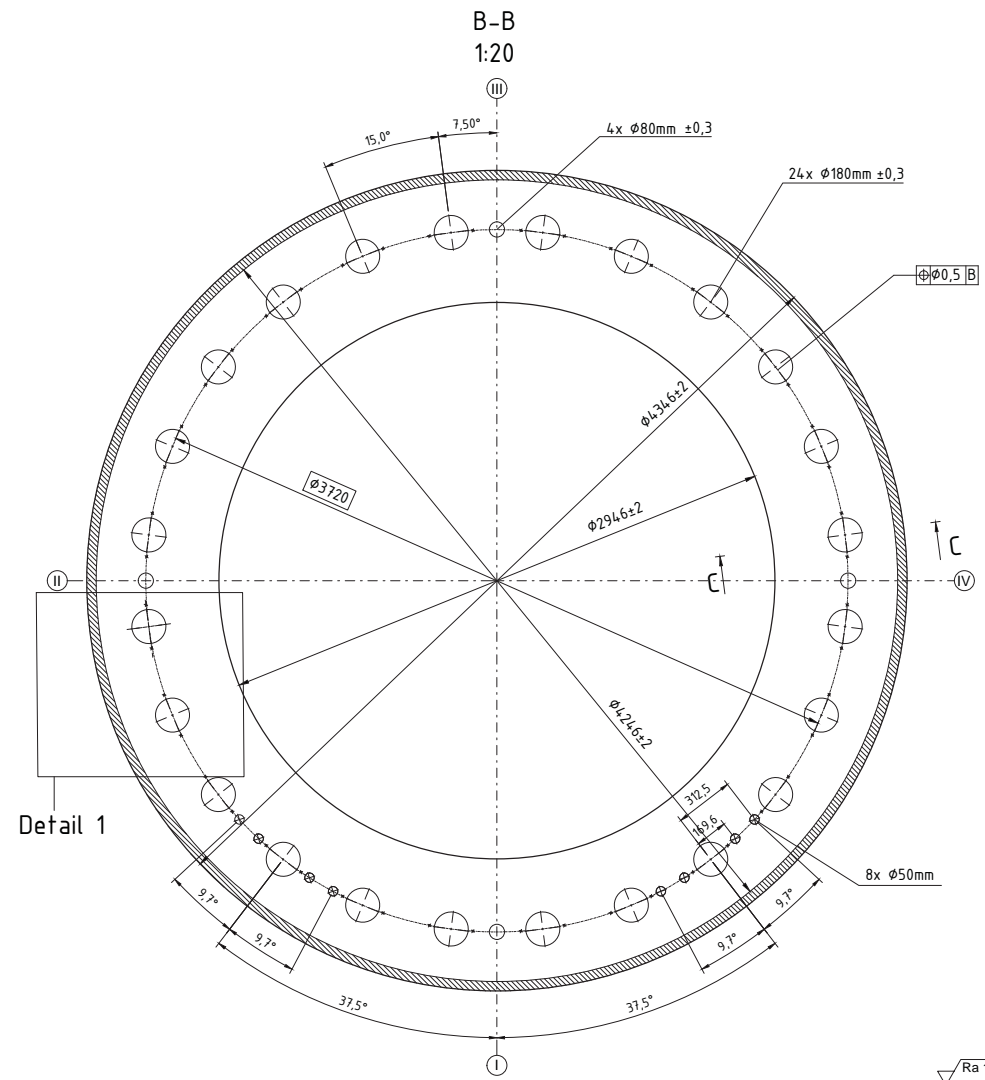


8115 920 151-6 E Rev. 0  
 Structural Design Evaluated  
 U. Lingslobe  
 Expert  
 TÜV NORD CERT GmbH  
 2019-03-15

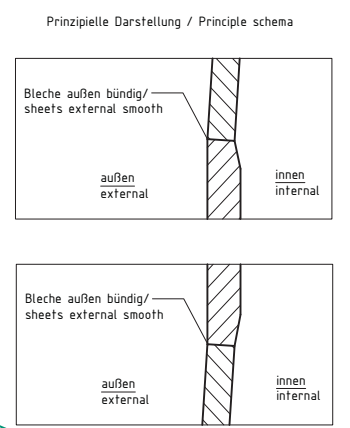
<b>ENERCON GmbH</b> Dreieck 5 26605 Aurich Germany		Allg. Toleranz General Tolerances DIN ISO 2768 Klasse v / Class v	Oberfläch. Surface DIN EN ISO 1302	Benennung / designation: <b>22,61m Stahlsektion Statik</b> 22,61m Steel section structural drawing
gezeichnet / prepared 23.07.2018 AH	geprüft / reviewed 23.07.2018 AN	freigegeben / approved 23.07.2018 GO	Projekt-Nr. / project no.: E18-023 Plan-Nr. / plan no.: D0691928-2 Blattgröße / sheet size: DIN A1 Maßstab / scale: wie angesetzt / as shown	



<b>Spezifikationen:</b> -ENERCON - Spezifikationen sind zu berücksichtigen. -Normen sind in ihrer aktuellen Fassung zu verwenden	<b>Specifications:</b> -ENERCON specifications are to be adhered to. -Standards have to be considered in their current version.
<b>Toleranzen:</b> Grundlegende Toleranzanforderungen in Ausführungsklasse EXC3 nach DIN EN 1090-2 Toleranzanforderungen für das Turmblech in Qualitätsklasse B nach DIN EN 1090-2, Tabelle B.11 Toleranzen für Blechdicke nach DIN EN 10029, Klasse B Ebenheitsabweichung für die Kontaktfläche der Flansche zwischen Stahlsektionen: -max. 2,0mm über den gesamten Umfang -max. 1,0mm über ein Segment von 30°	<b>Tolerances:</b> Basic tolerance requirements in execution class EXC 3 according to DIN EN 1090-2 Tolerance requirements for the tower plates in quality class B according to DIN EN 1090-2, Table B.11 Tolerance requirements for plate thickness according to DIN EN 10029, class B. Flatness deviation for the contact surface of the flanges between steel sections: -max. 2,0mm around the complete perimeter -max. 1,0mm over an angle of 30°
<b>Korrosionsschutz:</b> Korrosionsschutz nach DIN EN ISO 12944-5: -Turmwand außen: C5 - hoch -Turmwand innen: C3 - hoch	<b>Corrosion protection:</b> Corrosion protection according to DIN EN ISO 12944-5: -Tower wall external: C5 - high -Tower wall internal: C3 - high
<b>Schweißnähte:</b> Herstellerqualifikation für das Schweißen Klasse EXC3 nach DIN EN 1090-2. Schweißnähte (auch an Anbauteilen) in Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817. Schweißnahtvorbereitung je nach Schweißverfahren nach EN ISO 9692. Bleche von Flanschen und Zargen sind vor dem Schweißen auf ≥100°C vorzuwärmen: -Werkstoff S235: Blechdicke ≥45mm -Werkstoff S275: Blechdicke ≥30mm -Werkstoff S355: Blechdicke ≥30mm Anforderungen für Stumpfnähte: - Alle Schweißnähte sind durch- und gegengeschweißte Schweißnähte. - Neigungswinkel maximal 1/4. - An Stößen mit einer Blechdickendifferenz größer 4mm ist der Anschluss mit der Neigung 1/4 anfasen. - Ohne Ansatzstellen. - Nahtüberhöhung nicht größer als 10% der Nahtbreite. - Verlaufender Übergang in der Blechoberfläche. - Der lichte Mindestabstand aller einzuschweißenden Anbauteile (außer Türzarge und Lüftungszargen) zu Schweißnähten und Bohrungen des Stahlmantels beträgt mindestens 100mm.	<b>Welded seams:</b> Manufacturer's qualification for welding class EXC3 according to DIN EN 1090-2. Welds (also for attachments) in quality level B according to DIN EN ISO 5817. Weld preparation depending on welding process according to EN ISO 9692. Plates from flanges and frames have to be preheated to ≥100°C before welding: -Material S235: plate thickness ≥45mm -Material S275: plate thickness ≥30mm -Material S355: plate thickness ≥30mm Requirements for butt welds: - All weld seams are full penetration with back-welding. - Slope maximal 1/4. - At junctions with a plate thickness difference greater than 4mm the joint is to be chamfered with a slope 1/4. - Welds made in flat position. - No stop/start positions. - The height of the weld convexity to be not greater than 10% of the weld width. - Smooth transition to the plate surface. - Minimum clear distance of all welded attachments (except for door frame and ventilation frames) to other welds and bores at the tower wall is 100mm.
<b>Material:</b> Ultraschallprüfung hinsichtlich Dopplungsfreiheit: * für Bleche (Turmwand, Zargen Rahmen, Ankerplatten, Flansche) nach DIN EN 10160, in Klasse S1/E1. * für Schmiedestücke nach DIN EN 10228-3, in Klasse 3. Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 für Werkstoff.	<b>Material:</b> Ultraschallprüfung für interne Unregelmäßigkeiten: * für Stahlbleche (Türwand, Rahmen, Umkleenetze, Ankerplatten, Flansche) nach DIN EN 10160, in Klasse S1/E1 * für Schmiedestücke nach DIN EN 10228-3, in Klasse 3. Inspektion certificate 3.1 according to DIN EN 10204 for material.
<b>Flansch:</b> Kerbgruppe 140 nach DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.1, Konstruktionsdetail 4 - Flansch Ø4296: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (geschmiedet, nahtlos) - Flansch Ø4346: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (geschmiedet, nahtlos) +DIN EN 10164 - Z35	<b>Flange:</b> Notch category 140 acc. DIN EN 1993-1-9, table 8.1, construction detail 4 - flange Ø4296: steel DIN EN 10025-3-S355N (forged, weldless) - flange Ø4346: steel DIN EN 10025-3-S355N (forged, weldless) +DIN EN 10164 - Z35



### Blechstöße Turmschale/ welding of tower plates



8115 920 151-6 E Rev. 0  
Structural Design Evaluated

U. Lingstebe  
Expert  
TÜV NORD CERT GmbH

PRÜFAMT FÜR BAUSTATIK  
TÜV NORD CERT  
TÜV NORD CERT  
2019-03-15

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung  
Nr.: T-7003/19-1  
vom 12. Sep. 2019

<b>ENERCON GmbH</b> Dreieck 5 26605 Aurich Germany	Allgmeintoleranz General Tolerances DIN ISO 2768 Klasse v / Class v	Oberflächentoleranz Surface Tolerances DIN EN ISO 1302	Benennung / designation: <b>6,79m Stahlsektion Statik</b> 6,79m Steel section structural drawing
gezeichnet / prepared 02.08.2018 AH	geprüft / reviewed 02.08.2018 AN	freigegeben / approved 02.08.2018 GO	Projekt-Nr. / project no.: E18-023
Blattgröße / sheet size: DIN A1	Maßstab / scale: wie angedeutet as shown	Änderungen / changes	Rev. 1 Dat. 14.09.2018 Bearb. AH Gepr. AN

## Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01,  
Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02,  
DIBt Windzone 2, Geländekategorie II**

**- Flachgründung mit Auftrieb, D=19,40 m -**

<b>Prüfbericht Nr.:</b>	T-7003/19 - 2 Rev. 1
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Standsicherheit der Flachgründung mit Auftrieb für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland  H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland

**Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.**

Der Prüfbericht umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	12.09.2019	Erstausgabe
1	06.01.2020	- Neue Rev. Prüfbericht Hybridturm [1.2.1] - Genauere Angabe der Nabenhöhe

## Inhaltsverzeichnis

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

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Statischen Berechnungen von H+P Ingenieure GmbH

- [1.1.1] „STATISCHE BERECHNUNG E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Bauteil: Flma (Herausgezogen) Projekt: E18-038“,  
Dokument-Nr.: D0392208-2, Rev. 2, Datum: 17.05.2019

#### Lastvergleich von ENERCON GmbH

- [1.1.2] „Lastenvergleich Ergänzung zur Typenprüfung, E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012) zu E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012) Flachgründung mit Auftrieb Tiefgründung mit Auftrieb“,  
Dokument-Nr.: D0769168-2, Rev. 2, Datum: 02.07.2019

#### Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung von H+P Ingenieure GmbH

- [1.1.3] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Schalplan, FlmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-038 FIB“  
Dokument-Nr.: D0691951-2, Rev. 2, Datum: 17.06.2019
- [1.1.4] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 1, FlmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-038 FIB“  
Dokument-Nr.: D0691952-1, Rev. 1, Datum: 21.05.2019
- [1.1.5] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 2, FlmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-038 FIB“  
Dokument-Nr.: D0691953-1, Rev. 1, Datum: 21.05.2019
- [1.1.6] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 1, FlmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-038 FIB“  
Dokument-Nr.: D0691954-1, Rev. 1, Datum: 21.05.2019
- [1.1.7] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 2, FlmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-038 FIB“  
Dokument-Nr.: D0692002-1, Rev. 1, Datum: 21.05.2019

#### Spezifikationen von ENERCON GmbH

- [1.1.8] „Fundamentdatenblatt E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Herausgezogene Flachgründung mit Auftrieb, WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“,  
Dokument-Nr.: D0704625-4, Rev. 4, Datum: 02.07.2019

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, DIBt Windzone 2, Geländekategorie II,  
- Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 -“,  
Prüfbericht Nr.: T-7003/19 - 1 Rev. 1, Datum 06.01.2020
- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D0654095-3, Rev. 3, Datum: 30.11.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D0654095-1a, Rev. 1a, Datum: 25.05.2018
- [1.2.4] H+P Ingenieure GmbH:  
„BERECHNUNG DER VORSPANNKRÄFTE UND DEHNWEGE E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Bauteil: Betonfertigteilturm Projekt: E18-023“,  
Dokument-Nr.: D0392222-0, Rev. 0, Datum: 09.10.2018
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Spannverfahren“,  
Dokument-Nr.: D0725165-2, Rev. 2, Datum: 06.06.2019

### Spezifikationen

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
„Ausführungs-Systematik zu Hinweisen der Bauausführung Für alle Fundamenttypen“, Dokument-Nr.: D0748194-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.7] 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.: D0748193-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
„Materialspezifikation Betonstahl“,  
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

### Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

- [1.2.9] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:  
„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung; Zulassungsnummer: Z-13.3-110; Zulassungsgegenstand: Litzenspannverfahren VT-CMM KD für externe Vorspannung“, gültig vom 01.02.2018 bis 02.09.2020

[1.2.10] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:

„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-143; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren VT-CMM D/KD für Windenergieanlagen“, gültig vom 02.09.2017 bis 02.09.2020

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Korrigierte Fassung 03.2015)  
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08  
„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 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04  
„Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1997-1:2014-03 + 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 Regelungen 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] DAfStb Heft 439 (1994)  
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“
- [2.8] DAfStb Heft 600 (2012)  
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“
- [2.9] DAfStb-Richtlinie 810 (2005-03)  
„Massige Bauteile aus Beton“



### 3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung einer Flachgründung mit Auftrieb, 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 vorgespannten Betonfertigteilturms mit Stahlsektionen E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisringfundament mit einer lastabtragenden Bodenplatte weist einen Außendurchmesser von 19,40 m auf.

Weitere Details können dem Schalplan [1.1.3] und dem Fundamentdatenblatt [1.1.8] entnommen werden.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
1	E-138 EP3	130,03 m	3500 kW	E-138 EP3-RB-01	WZ 2	GK II	[1.1.1] und Lastvergleich [1.1.2]

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:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3	130,03 m	3500 kW	E-138 EP3-RB-01	WZ 2	GK II	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden berücksichtigt (s. [1.2.1]).

Die maximal zulässige Setzungsdifferenz, bezogen auf den Fundamentaußendurchmesser, beträgt  $\Delta s = 40$  mm.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder  $k_{\phi,stat} = 10\,000$  MNm/rad wurde ebenfalls berücksichtigt.

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

Im Spannkeller auf der Bodenplatte wurde eine Verkehrslast von  $3$  kN/m<sup>2</sup>, ständige Last aus dem Transformator und die Lasten aus dem Transformatortausch angesetzt.

Der maximale Wasserstand aus Schichten- und Oberflächenwasser oder Grundwasser liegt  $0,40$  m über der Unterkante der Bodenplatte im Spannkeller des Fundaments. Dementsprechend wurde das Fundament mit und ohne Einwirkungen aus Auftrieb berechnet.

Die Werte der Vorspannung wurden [1.2.4] entnommen und in [1.2.1] geprüft.

Zusätzlich zum Endzustand wurde ein Bauzustand nachgewiesen (s. [1.1.3]).

### 4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

#### Fundament

Fundamentplatte:	C35/45	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Bodenplatte:	C35/45	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Vergussmörtel:	$\geq$ C70/85	DIN EN 206-1 Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“ genügen.
Betonstahl:	B500B	DIN 488
Spannverfahren:	VT-CMM KD Litzenspannverfahren ohne Verbund, Zulassung Nr. Z-13.3-110 [1.2.9] mit Z-13.3-143 [1.2.10], 24 externe Spannglieder vom Typ 4x04-165 KD mit 16 Litzen, Stahlgüte St 1600/1820	

## **5 Prüfung**

### **5.1 Umfang und Methodik**

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

Die statische Berechnung [1.1.1] basiert auf den Lasten aus der Revision 1a der Bauvorlage [1.2.3]. Bei der Fundamentprüfung lag die Bauvorlage der Fundamentlasten in der Revision 3 [1.2.2] vor. In dem Lastvergleich [1.1.2] wurden die Lasten aus der Bauvorlage [1.2.2] mit den Auslegungslasten aus der Bauvorlage [1.2.3], welche die Grundlage für die statische Berechnung [1.1.1] bilden, gegenübergestellt.

Die Prüfung umfasst das Fundament und die tragende Bodenplatte.

Der Turm und die geotechnischen Nachweise sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Der Hybridturm und die externen Spannglieder wurden in [1.2.1] geprüft.

Bei der Prüfung wurden Arbeitsfugen berücksichtigt (s. [1.1.3]).

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.

Unter dem Kreisring ist eine 50 cm dicke, bewehrte Bodenplatte angeordnet. Die Bodenplatte dient als Zugband und ist für Wasserdruck von unten, für ständige Last aus dem Transformator, für die Lasten aus dem Transformatortausch und auch für die Normalkraft ausgelegt. Die Fuge zwischen der Bodenplatte und dem Kreisring ist mit einer umlaufenden Anschlussbewehrung versehen, die Bodenplatte selbst ist kreuzweise bewehrt.

### **5.3 Ergebnisse**

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

### **5.4 Schnittstellen**

#### Turm

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

#### Geotechnische Nachweise

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

5.4.3 Der Baugrund muss die in [1.1.8] spezifizierten Anforderungen erfüllen.

#### Montage & Inbetriebnahme

5.4.4 Aufgrund der beim Ermüdungsnachweis getroffenen Annahmen darf die Windenergieanlage frühestens 40 Tage nach Herstellung des Fundaments in Betrieb genommen werden.

#### Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

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

## **6 Auflagen**

### Fundament

6.1 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der Spezifikation [1.2.6] zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.

6.2 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Betontechnologe 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.

## 7 Zusammenfassung

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

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

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

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

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

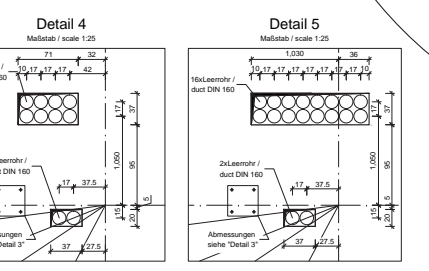
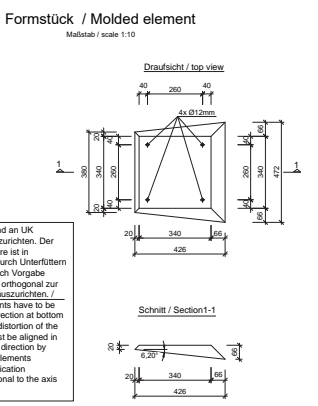
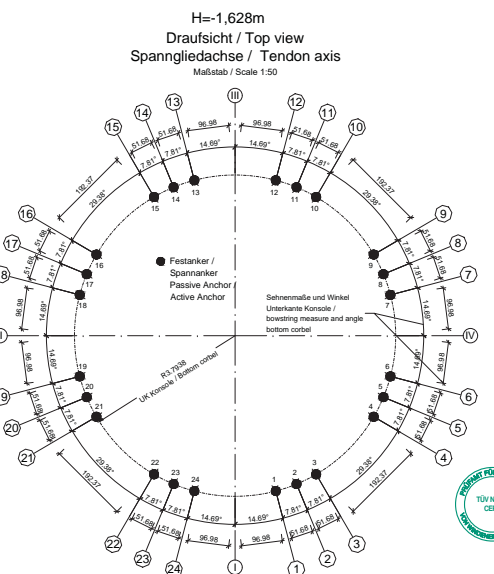
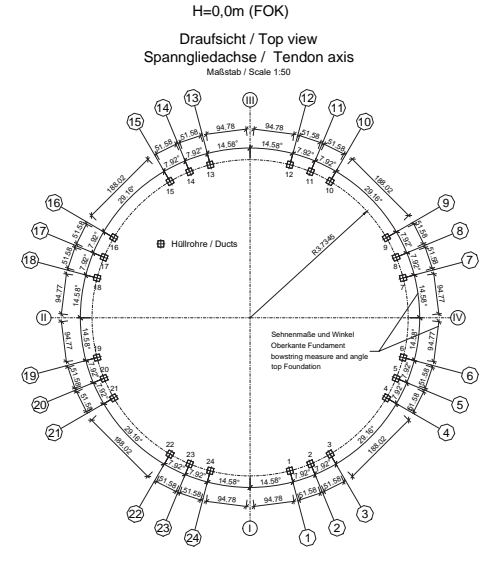
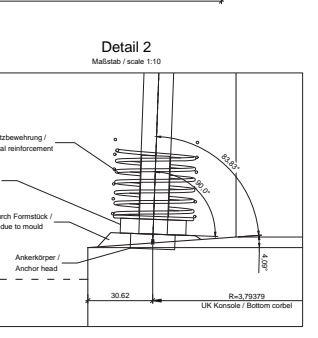
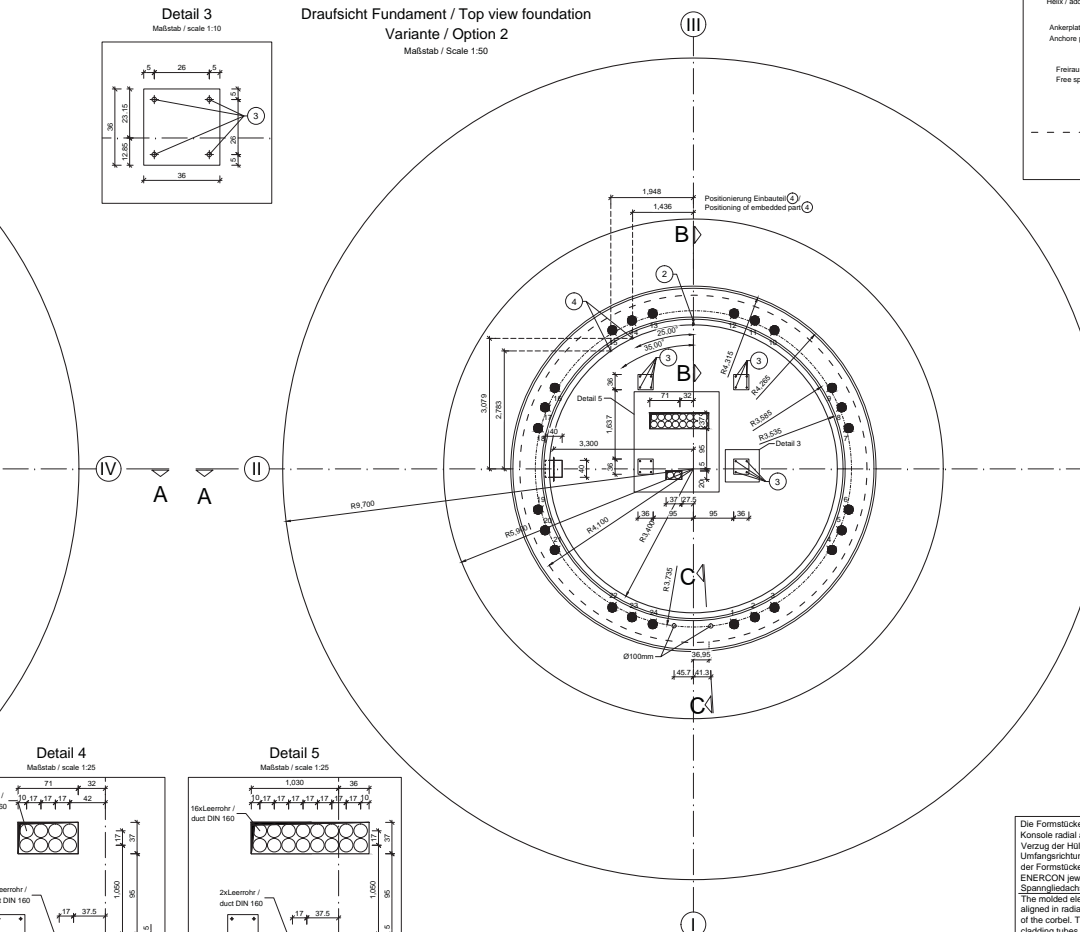
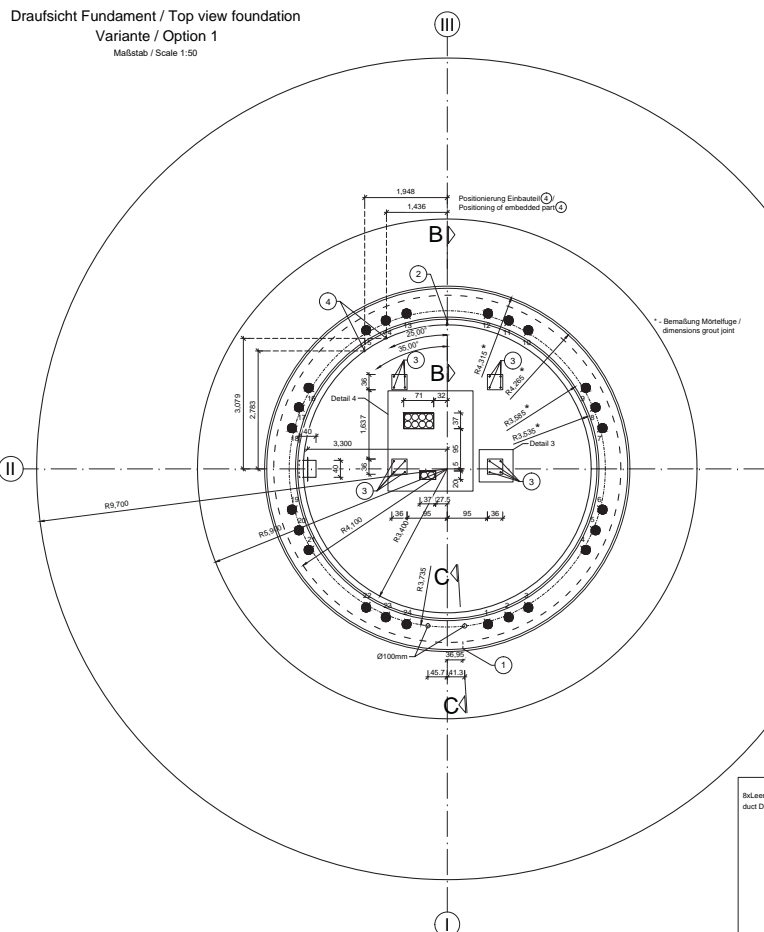
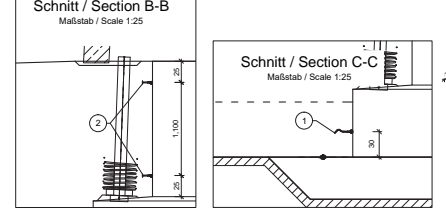
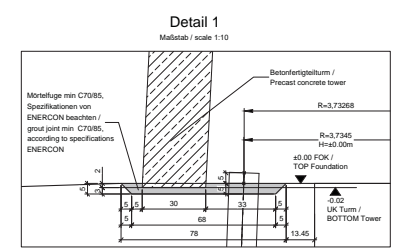
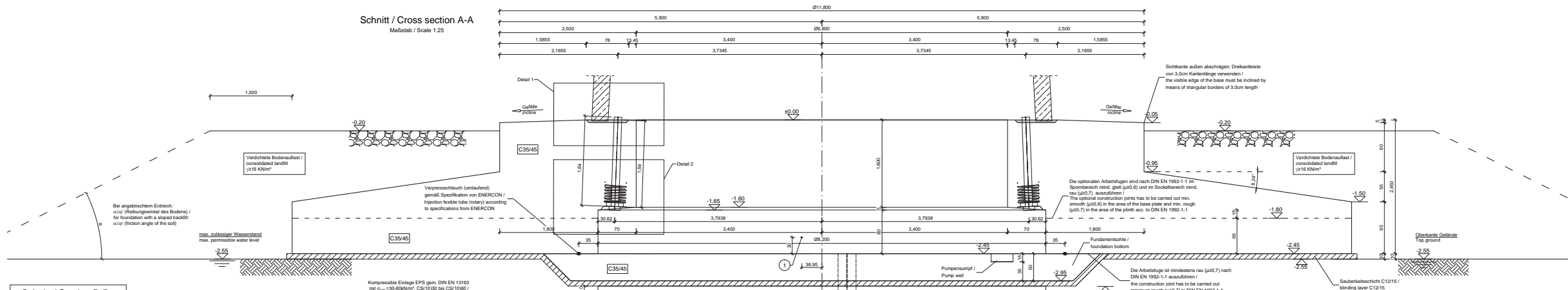
Der stellvertretende Leiter



Dipl.-Ing. (FH) S. Möller



An der Prüfung beteiligt:  
M.Sc. E. Dottai



Die Formstücke sind an UK Koralle radial auszurichten. Der Verzög der Hüllrohre ist in Umfangsrichtung durch Unterfüllen der Formstücke nach Vorgabe ENERCON jeweils orthogonal zur Spannriegelachse auszurichten. / The molded elements have to be aligned in radial direction at bottom of the corbel. The distortion of the cladding tubes must be aligned in the circumferential direction by filling the molded elements according to specification ENERCON orthogonal to the axis of the tendon.

Pos.	Quantität	Bezeichnung / Description
1	1	SAP 4355, 100x100x100 mm, Rf 100,000 Besch: 100, 200, 174, oder gleichwertig
2	1	SAP 4355, 100x100x100 mm, Rf 100,000 Besch: 100, 200, 174, oder gleichwertig
3	1	SAP 4355, 100x100x100 mm, Rf 100,000 Besch: 100, 200, 174, oder gleichwertig
4	1	SAP 4355, 100x100x100 mm, Rf 100,000 Besch: 100, 200, 174, oder gleichwertig

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

**Einbauteile / Cast-in Elements**

Die Fundament- und Fundament- und eine Bauteilnummer C1215 anzuordnen.  
For the foundation and foundation and one part number C1215 to be arranged.

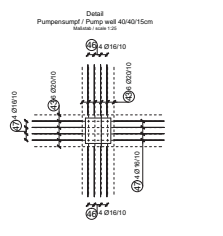
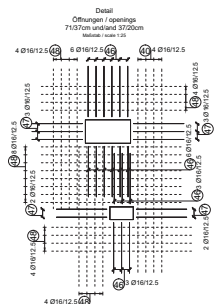
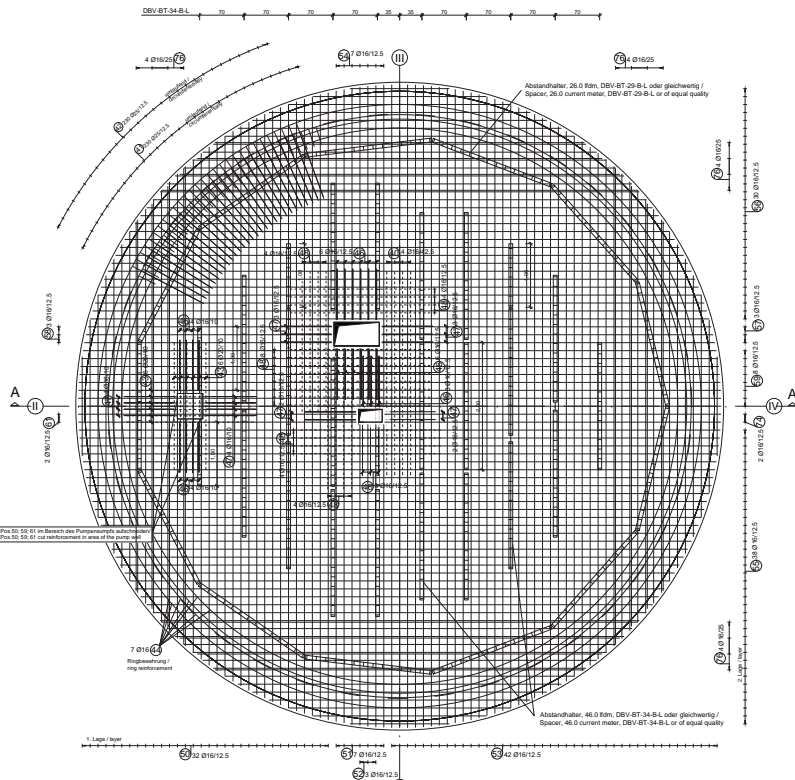






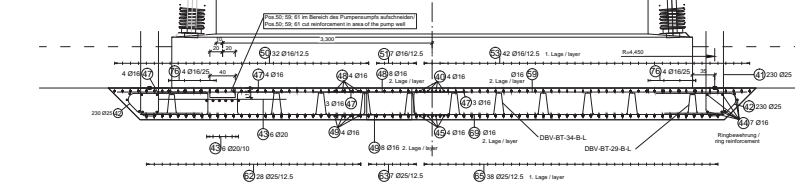
Obere Sohbewehrung und Abstandhalter / Top reinforcement foundation slab and spacers

Maßstab / scale 1:25



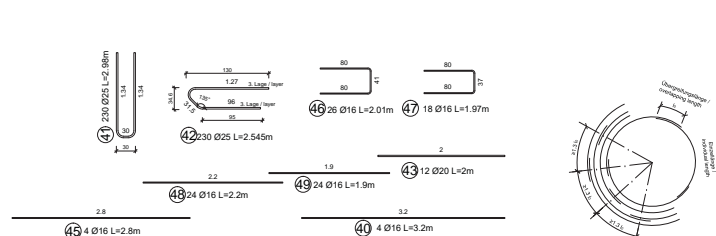
Schnitt / Cross section A-A

Maßstab / scale 1:25



Stahlteile Bodenplatte / steel schedule base plate

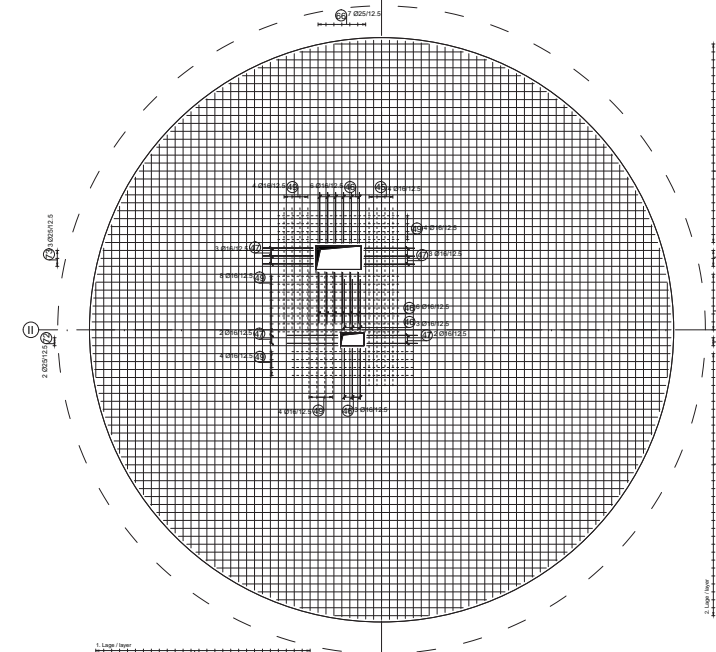
Pos.	Aspekt / Number	Länge / Length [m]	Geometrie / Section [cm]	Material / Material	Stückzahl / Quantity	Gesamtgewicht / Total weight [kg]
80	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
81	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
82	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
83	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
84	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
85	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
86	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
87	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
88	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
89	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
90	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
91	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
92	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
93	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
94	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
95	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
96	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
97	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
98	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
99	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
100	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
101	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
102	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
103	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
104	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
105	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
106	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
107	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
108	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
109	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
110	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
111	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
112	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
113	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
114	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
115	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
116	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
117	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
118	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
119	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
120	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
121	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
122	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
123	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
124	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
125	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
126	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
127	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
128	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
129	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
130	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
131	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
132	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
133	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
134	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
135	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
136	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
137	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
138	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
139	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
140	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
141	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
142	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
143	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
144	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
145	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
146	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
147	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
148	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
149	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
150	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
151	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
152	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
153	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
154	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
155	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
156	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
157	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
158	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
159	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
160	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
161	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
162	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
163	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
164	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
165	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
166	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
167	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
168	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
169	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
170	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
171	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
172	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
173	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
174	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
175	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
176	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
177	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
178	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
179	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
180	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
181	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
182	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
183	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
184	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
185	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
186	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
187	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
188	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
189	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
190	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
191	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
192	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
193	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
194	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
195	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
196	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
197	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
198	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
199	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
200	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
201	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
202	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
203	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
204	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
205	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
206	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
207	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
208	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
209	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
210	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
211	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
212	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
213	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
214	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
215	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
216	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
217	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
218	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
219	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
220	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
221	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
222	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
223	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
224	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
225	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
226	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
227	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
228	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
229	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
230	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
231	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
232	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
233	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
234	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
235	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
236	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
237	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
238	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
239	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
240	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
241	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
242	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
243	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
244	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
245	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
246	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
247	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
248	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
249	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90
250	1	2,00	200x12,5	S235	1	3,90



Abstandhalter / Spacer	Ø [mm]	Länge / Length [m]	Gesamtgewicht / Total weight [kg]
Ø16 L=2,8m	16	2,800	30,80
Ø16 L=3,2m	16	3,200	34,56
Ø16 L=2,0m	16	2,000	21,50
Ø16 L=1,9m	16	1,900	20,42
Ø16 L=2,0m	16	2,000	21,50
Ø16 L=1,9m	16	1,900	20,42

Untere Sohbewehrung / Bottom reinforcement foundation slab

Maßstab / scale 1:25



Pos.	Aspekt / Number	Länge / Length [m]	Geometrie / Section [cm]	Material / Material	Stückzahl / Quantity	Gesamtgewicht / Total weight [kg]
------	-----------------	--------------------	--------------------------	---------------------	----------------------	-----------------------------------



# Fundamentdatenblatt

# Foundation Data Sheet

**E-138 EP3-HT-131-ES-C-02**

**Herausgezogene Flachgründung mit Auftrieb**  
**Pulled-out flat foundation with buoyancy**

**WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)**  
**WTC IIIA (IEC 61400-1, 3<sup>rd</sup> edition, 2005-08)**

8115920151-7 E I Rev.0  
Evaluated  
E. Dottai  
Expert  
TÜV NORD CERT GmbH  
TÜV NORD  
2019-07-15

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung  
Nr.: ..... T-7003/19-2 .....  
vom ..... 12. Sep. 2019 .....



<b>Herausgeber</b>	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109 E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360
<b>Urheberrechtshinweis</b>	<p>Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.</p> <p>Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.</p> <p>Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.</p> <p>Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.</p>
<b>Geschützte Marken</b>	Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.
<b>Änderungsvorbehalt</b>	Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.
<b>Publisher</b>	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Germany Phone: +49 4941 927-0 ▪ Fax: +49 4941 927-109 E-mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Managing Directors: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Local court: Aurich ▪ Company registration number: HRB 411 VAT ID no.: DE 181 977 360
<b>Copyright notice</b>	<p>The entire content of this document is protected by copyright and – with regard to other intellectual property rights – international laws and treaties. ENERCON GmbH holds the rights in the content of this document unless another rights holder is expressly identified or obviously recognisable.</p> <p>ENERCON GmbH grants the user the right to make copies and duplicates of this document for informational purposes for its own intra-corporate use; making this document available does not grant the user any further right of use. Any other duplication, modification, dissemination, publication, circulation, surrender to third parties and/or utilisation of the contents of this document – also in part – shall require the express prior written consent of ENERCON GmbH unless any of the above is permitted by mandatory legislation.</p> <p>The user is prohibited from registering any industrial property rights in the know-how reproduced in this document, or for parts thereof.</p> <p>If and to the extent that ENERCON GmbH does not hold the rights in the content of this document, the user shall adhere to the relevant rights holder's terms of use.</p>
<b>Registered trademarks</b>	Any trademarks mentioned in this document are intellectual property of the respective registered trademark holders; the stipulations of the applicable trademark law are valid without restriction.
<b>Reservation of right of modification</b>	ENERCON GmbH reserves the right to change, improve and expand this document and the subject matter described herein at any time without prior notice, unless contractual agreements or legal requirements provide otherwise.



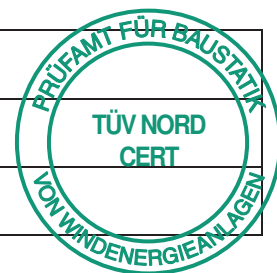
**Dokumentinformation / Document details**

<b>Dokument-ID</b> Document ID	D0704625-4
<b>Vermerk</b> Note	Originaldokument Original document

<b>Datum</b> Date	<b>Sprache</b> Language	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b> Plant / Department
2019-07-02	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

**Ergänzende Angaben / Additional notes**

<b>Angaben zum Original (ger;eng)</b> Original document details		<b>Angaben zur Übersetzung (--)</b> Translation details	
Erstellt/Datum: Created/Date:	Villada Gonzalez, J. / 2018-05-17	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Behrns, M. / 2018-05-17	Geprüft/Datum: Checked/Date:	


**Revisionen / Revisions**

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2018-05-17	Dokument erstellt Document created	JAV
1	2018-10-15	Geometrie angepasst / adapt geometry	MAB
2	2019-02-12	Ergänzung Leerrohr-Optionen 1 (10x DN160) und 2 (18x DN160) Addition of duct options 1 (10x DN/OD 160) and 2 (18x DN/OD 160)	KCY
3	2019-05-23	Stahlgewichte B500 angepasst / steel weight B500 adapted	KCY
4	2019-07-02	Datum Lastenvergleich aktualisiert / date of load comparison updated	KCY



Dieses Dokument wurde auf Anfrage bzw. für einen bestimmten Auftrag verschickt. Der Empfänger wurde nicht registriert. Der Empfänger wird bei Änderung nicht automatisch informiert.

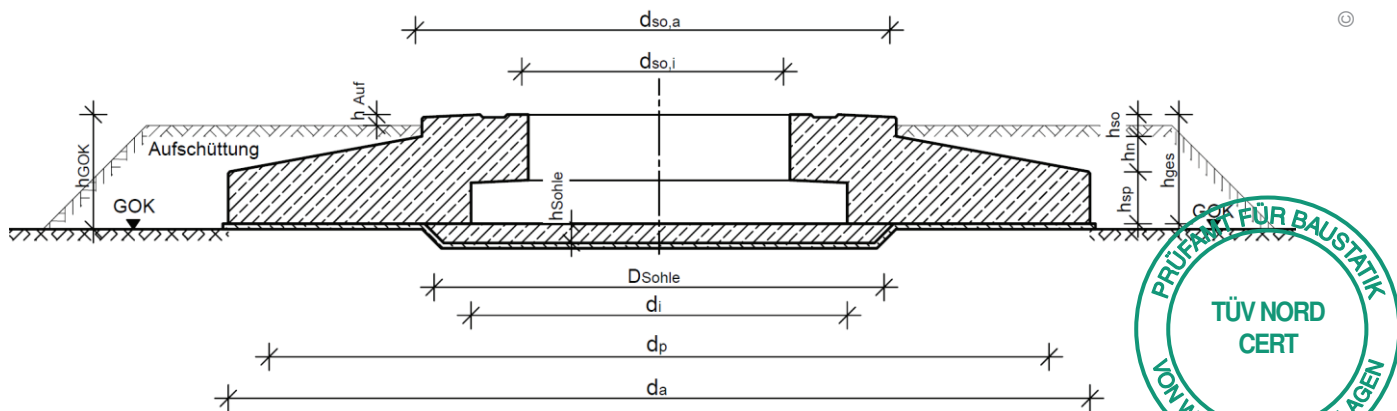
This document has been forwarded upon request or with regard to a specific order. The recipient has not been registered. The recipient will not be automatically notified about any amendments.

# 1 Allgemeine Angaben / General information

Typenstatik	H+P Ingenieure GmbH	<i>Design-specific structural analysis</i>
Herausgezogene Flachgründung mit Auftrieb	Ø 19,40 m	<i>Pulled-out flat foundation with buoyancy</i>
Auftrag / Datum	E18-038, 17.05.2019	<i>Order no. / date</i>
Lastenvergleich	ENERCON GmbH	<i>Load comparison</i>
Datum	02.07.2019	<i>Date</i>

## 2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

Außendurchmesser	$d_a$	19,40	m	<i>Outer diameter</i>
Innendurchmesser	$d_i$	8,20	m	<i>Inner diameter</i>
Durchmesser der kompressiblen Einlage	$d_k$	8,20	m	<i>Compressible layer diameter</i>
Sockeldurchmesser - außen	$d_{so,a}$	11,80	m	<i>Base diameter - outside</i>
Sockeldurchmesser - innen	$d_{so,i}$	6,80	m	<i>Base diameter - inside</i>
Fundamenthöhe	$h_{ges}$	2,45	m	<i>Foundation height</i>
Sockelhöhe	$h_{so}$	0,95	m	<i>Base height</i>
Höhe Spornneigung	$h_n$	0,55	m	<i>Spur incline height</i>
Spornhöhe	$h_{sp}$	0,95	m	<i>Spur height</i>
Differenz Fundamentoberkante - GOK	$h_{GOK}$	2,55	m	<i>Difference between foundation top edge and ground level</i>
Differenz Fundamentoberkante - Oberkante Aufschüttung	$h_{Auf}$	0,20	m	<i>Difference between foundation top edge and top edge of backfill</i>
Höhe der Fundamentsohle	$h_{Sohle}$	0,50	m	<i>Height of foundation bottom</i>
Durchmesser der Fundamentsohle (gemittelt)	$d_{Sohle}$	9,70	m	<i>Diameter of foundation bottom (averaged)</i>
Betongüte und Volumen	C 35/45	388	m <sup>3</sup>	<i>Concrete quality and volume</i>
Betonstahl und Gewicht	B 500B	80,1	t	<i>Reinforcement steel and weight</i>
	B 400B	-	t	
Fundamentsohle Option 1:				<i>Foundation bottom option 1:</i>
Betongüte und Volumen	C 35/45	37	m <sup>3</sup>	<i>Concrete quality and volume</i>
Betonstahl und Gewicht	B 500B	11,9	t	<i>Reinforcement steel and weight</i>
	B 400B	-	t	
Fundamentsohle Option 2:				<i>Foundation bottom option 2:</i>
Betongüte und Volumen	C 35/45	37	m <sup>3</sup>	<i>Concrete quality and volume</i>
Betonstahl und Gewicht	B 500B	12,0	t	<i>Reinforcement steel and weight</i>
	B 400B	-	t	



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaußenkanten ist durch einen Baugrundergutachter festzulegen.  
 The required protrusion of the backfill beyond the outer edges of the foundation must be defined by a geotechnical expert.

### 3 Mindestdrehfedersteifigkeiten Minimum rotational spring stiffness

Für die elastische Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund sind folgende Mindestwerte einzuhalten:

*Observe the following minimum values with regard to elastic clamping between foundation and subsoil:*

<b>Gesamtsystem / Total system</b>  (Turm und Gründung / Tower and foundation)	<b>k<sub>φ,stat</sub></b> <b>10000 MNm/rad</b>
	<b>k<sub>φ,dyn</sub></b> <b>100000 MNm/rad</b>

Die erforderlichen dynamischen Steifemodule ( $E_{oed,dyn}$ ) ergeben sich in Abhängigkeit von Fundamentgeometrie und Querdehnzahl.

*The resulting required dynamic stiffness moduli ( $E_{oed,dyn}$ ) depend on the foundation dimensions and Poisson's ratio.*

Ersatzradius für den gleich steifen Kreis:

*Equivalent radius of a circle with the same stiffness:*

$$r = 9,62 \text{ m}$$

Für Kreisfundamente gilt:

*The following applies to circular foundations:*

$$k_{\varphi} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

daraus folgt:

*This means that:*

$$E_{oed, dyn} = k_{\varphi} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - \nu)^2}{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}$$

G = Schubmodul / *Shear modulus* in MN/m<sup>2</sup>

r = Radius / *Radius* in m

ν = Querdehnzahl / *Poisson's ratio*



### 4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

Maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung in 25 Jahren bezogen auf den Außendurchmesser.

*Maximum allowed misalignment due to subsoil settlement within 25 years, related to the outer diameter.*

$$\Delta s \leq 40 \text{ mm}$$

### 5 Bodenpressung / Soil bearing pressure

Der anstehende Baugrund muss mindestens folgende Bodenpressung aufnehmen können.

*The in-situ subsoil must be able to bear the following minimum pressure.*

$$\sigma_{k,vorh} = 325 \text{ kN/m}^2$$

## 6 Lasten an der Fundamentunterkante Loads at the bottom edge of the foundation

Die hier angegebenen  $F_Z$ -Lasten enthalten ein Fundamenteigengewicht  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  und eine Bodenauflast  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$  im Trockenzustand.

The  $F_Z$  loads specified here include a dead weight of foundation  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  and a soil weight  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$  in dry condition.

### 6.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	$(\gamma_F / \gamma_F)$	$F_{XY}$ in kN	$F_{Z,\min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$M_{XY}$ in kNm	$M_Z$ in kNm
NTM DLC D.3	(1.00/1.00)	840	-28968	-27898	77458	-
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1340	-28968	-27898	120083	-9150
N / A / T	(1.00/1.00)	1440	-28968	-27898	130978	10200

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_F = 1,00$ )

Loads do not include partial safety factors  
( $\gamma_F = 1.00$ )

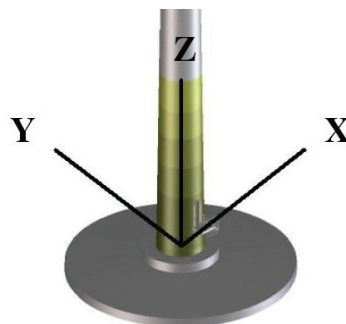
### 6.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

Lastfall Load case	$(\gamma_F / \gamma_F)$	$F_{XY}$ in kN	$F_{Z,\min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$M_{XY}$ in kNm	$M_Z$ in kNm
N / A / T	(1.35/0.90)	1940	-35310	-25033	168753	-12350

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$ )

All loads include partial safety factors  
( $\gamma_{\text{Buoyancy}} = 1.10$ )

## 7 Koordinatensystem / Coordinate system





## Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E138 EP3-RB-01,  
Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02,  
DIBt Windzone 2, Geländekategorie II**

**- Tiefgründung mit Auftrieb, D=16,70 m -**

<b>Prüfbericht Nr.:</b>	T-7003/19-3 Rev. 1
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Standsicherheit der Tiefgründung mit Auftrieb für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland  H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland

**Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.**

Der Prüfbericht umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	12.09.2019	Erstausgabe
1	06.01.2020	- Neue Rev. Prüfbericht Hybridturm [1.2.1] - Genauere Angabe der Nabenhöhe

## Inhaltsverzeichnis

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

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Statischen Berechnungen von H+P Ingenieure GmbH

- [1.1.1] „STATISCHE BERECHNUNG E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Bauteil: Pfahlgründung mit Auftrieb (Herausgezogen) Projekt: E18-039“,  
Dokument-Nr.: D0392214-1, Rev. 1, Datum: 31.01.2019

#### Lastvergleich von ENERCON GmbH

- [1.1.2] „Lastenvergleich Ergänzung zur Typenprüfung, E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012) zu E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012) Flachgründung mit Auftrieb Tiefgründung mit Auftrieb“,  
Dokument-Nr.: D0769168-2, Rev. 2, Datum: 02.07.2019

#### Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung von H+P Ingenieure GmbH

- [1.1.3] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante A: 45x Fertigteiltrammpfähle mit a=b=45cm TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“,  
Dokument-Nr.: D0691962-1, Rev. 1, Datum: 07.02.2019
- [1.1.4] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante B: 39x Ortbetonrammpfähle Ø=51cm TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“,  
Dokument-Nr.: D0691963-1, Rev. 1, Datum: 07.02.2019
- [1.1.5] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante C: 33x Ortbetonrammpfähle Ø=56cm TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“,  
Dokument-Nr.: D0691964-1, Rev. 1, Datum: 07.02.2019
- [1.1.6] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante D: 25x Bohrpfähle mit Ø=100cm TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“,  
Dokument-Nr.: D0691965-1, Rev. 1, Datum: 07.02.2019
- [1.1.7] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 1 TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“,  
Dokument-Nr.: D0691966-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2019
- [1.1.8] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 2 TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“,  
Dokument-Nr.: D0691967-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2019

- [1.1.9] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 1 TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“, Dokument-Nr.: D0691968-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2019
- [1.1.10] „Turmtyp: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 2 TgmA (Herausgezogen), Projekt-Nr. E18-039 DFIB“, Dokument-Nr.: D0692004-0, Rev. 0, Datum: 21.02.2019

### Spezifikationen von ENERCON GmbH

- [1.1.11] „Fundamentdatenblatt E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Herausgezogene Tiefgründung mit Auftrieb, WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“, Dokument-Nr.: D0704630-3, Rev. 3, Datum: 02.07.2019

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, DIBt Windzone 2, Geländekategorie II,  
- Hybridturm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 -“,  
Prüfbericht Nr.: T-7003/19 - 1 Rev. 1, Datum 06.01.2020
- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D0654095-3, Rev. 3, Datum: 30.11.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Fundamentlasten“,  
Dokument-Nr.: D0654095-1a, Rev. 1a, Datum: 25.05.2018
- [1.2.4] H+P Ingenieure GmbH:  
„BERECHNUNG DER VORSPANNKRÄFTE UND DEHNWEGE E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Bauteil: Betonfertigteilturm Projekt: E18-023“,  
Dokument-Nr.: D0392222-0, Rev. 0, Datum: 09.10.2018
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
„Bauvorlage E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 Spannverfahren“,  
Dokument-Nr.: D0725165-2, Rev. 2, Datum: 06.06.2019

### Spezifikationen

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
„Ausführungs-Systematik zu Hinweisen der Bauausführung Für alle Fundamenttypen“, Dokument-Nr.: D0748194-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018

[1.2.7] 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.: D0748193-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018

[1.2.8] ENERCON GmbH:  
„Materialspezifikation Betonstahl“,  
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

### Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

[1.2.9] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:  
„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung; Zulassungsnummer: Z-13.3-110; Zu-  
lassungsgegenstand: Litzenspannverfahren VT-CMM KD für externe Vorspan-  
nung“, gültig vom 01.02.2018 bis 02.09.2020

[1.2.10] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:  
„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-143; Gegenstand dieses Be-  
scheidens: Litzenspannverfahren VT-CMM D/KD für Windenergieanlagen“, gültig  
vom 02.09.2017 bis 02.09.2020

## **2 Prüfgrundlagen**

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

[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 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04  
„Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbeton-  
tragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hoch-  
bau“

[2.4] DIN EN 1997-1:2014-03 + 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] DAfStb Heft 439 (1994)  
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“
- [2.8] DAfStb Heft 600 (2012)  
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“
- [2.9] DAfStb-Richtlinie 810 (2005-03)  
„Massige Bauteile aus Beton“

### **3 Einleitung**

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung einer Tiefgründung mit Auftrieb, 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 vorgespannten Betonfertigteilturms mit Stahlsektionen E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisringfundament weist einen Außendurchmesser von 16,70 m auf und ist für die folgenden Pfahlvarianten ausgelegt:

- 45 Fertigteilrammpfähle mit 45/45cm
- 39 Ortbetonrammpfähle mit Ø51cm
- 33 Ortbetonrammpfähle mit Ø56cm
- 25 Bohrpfähle mit Ø100cm

Unter dem Kreisring ist eine 50 cm dicke, bewehrte Bodenplatte angeordnet. Die Bodenplatte dient als Zugband und ist für Wasserdruck von unten, für ständige Last aus dem Transformator, für die Lasten aus dem Transformatortausch und auch für die Normalkraft ausgelegt. Die Fuge zwischen der Bodenplatte und dem Kreisring ist mit einer umlaufenden Anschlussbewehrung versehen, die Bodenplatte selbst ist kreuzweise bewehrt.

Weitere Details können den Schalplänen [1.1.3] bis [1.1.6] und dem Fundamentdatenblatt [1.1.11] entnommen werden.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
1	E-138 EP3	130,03 m	3500 kW	E138 EP3-RB-01	WZ 2	GK II	[1.1.1] und Lastvergleich [1.1.2]

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:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3	130,03 m	3500 kW	E138 EP3-RB-01	WZ 2	GK II	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden berücksichtigt (s. [1.2.1]).

Die maximal zulässige Setzungsdifferenz, bezogen auf den Pfahlkreisdurchmesser, beträgt  $\Delta s = 40$  mm.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder  $k_{\phi,stat} = 20\,000$  MNm/rad wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die dynamische Bodendrehfeder wurde mit  $k_{\phi,dyn} = 200\,000$  MNm/rad angesetzt.

Im Spannkeller auf der Bodenplatte wurde eine Verkehrslast von  $3$  kN/m<sup>2</sup>, ständige Last aus dem Transformator und die Lasten aus dem Transformatortausch angesetzt.

Der maximale Wasserstand aus Schichten- und Oberflächenwasser oder Grundwasser liegt  $0,80$  m über der Fundamentsohle. Dementsprechend wurde das Fundament mit und ohne Einwirkungen aus Auftrieb berechnet.

Die Werte der Vorspannung wurden [1.2.4] entnommen und in [1.2.1] geprüft.

Zusätzlich zum Endzustand wurden zwei Bauzustände mit Belastung aus Frischbetoneigengewicht nachgewiesen (s. [1.1.3] bis [1.1.6]).

### 4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

#### Fundament

Fundamentplatte:	C35/45	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Bodenplatte:	C35/45	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Vergussmörtel:	≥ C70/85	DIN EN 206-1 Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“ genügen.
Betonstahl:	B500B	DIN 488
Spannverfahren:	VT-CMM KD Litzenspannverfahren ohne Verbund, Zulassung Nr. Z-13.3-110 [1.2.9] mit Z-13.3-143 [1.2.10], 24 externe Spannglieder vom Typ 4x04-165 KD mit 16 Litzen, Stahlgüte St 1600/1820	

## 5 Prüfung

### 5.1 Umfang und Methodik

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

Die statische Berechnung in [1.1.1] beruht auf den Lasten in [1.2.3]. Diese Lasten wurden geändert und in einem neuen Lastdokument [1.2.1] ausgewiesen, welches in [1.2.2] geprüft wurde. Zum Nachweis der Standsicherheit des Fundaments wurde der ergänzende Lastvergleich [1.1.2] eingereicht und geprüft, in welchem die aktuellen Lasten [1.2.1] den ursprünglichen Bemessungslasten [1.2.3] der statischen Berechnung [1.1.1] gegenübergestellt wurden.

Die Prüfung umfasst das Fundament und die tragende Bodenplatte.

Der Turm, die innere Tragfähigkeit der Pfähle und die geotechnischen Nachweise (inklusive der äußeren Tragfähigkeit der Pfähle) sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Der Hybridturm, die externen Spannglieder wurden in [1.2.1] geprüft.

Bei der Prüfung wurden verschiedene Bauzustände berücksichtigt (s. [1.1.3] bis [1.1.6]).



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.

## **5.3 Ergebnisse**

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

## **5.4 Schnittstellen**

### Turm

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

### Geotechnische Nachweise und Pfähle

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

5.4.3 Der Baugrund und das Pfahlsystem müssen die in [1.1.11] spezifizierten Anforderungen erfüllen.

5.4.4 Für den Nachweis der äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind die in [1.1.11] angegebenen, charakteristischen Lasten zu verwenden.

5.4.5 Die Pfahlsysteme wurden für eine Absetztiefe von 20 m, bezogen auf die Unterkante der Fundamentplatte berechnet. Die Pfahllänge kann je nach Baugrundbeurteilung und nach den örtlichen Bohr- bzw. Rammbedingungen variieren.

### Montage & Inbetriebnahme

5.4.6 Aufgrund der beim Ermüdungsnachweis getroffenen Annahmen darf die Windenergieanlage frühestens 40 Tage nach Herstellung des Fundaments in Betrieb genommen werden.

### Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

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

## **6 Auflagen**

### Fundament und Pfähle

- 6.1 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und der Spezifikation [1.2.6] zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 durchzuführen.
- 6.2 Der Fundamentsporn ist mit einer Bodenaufschüttung gemäß [1.1.3], [1.1.4], [1.1.5] oder [1.1.6] zu versehen. Die Wichte der Aufschüttung muss im Trockenzustand  $16 \text{ kN/m}^3$  betragen.
- 6.3 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Betontechnologe 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

- 6.4 Die innere Tragfähigkeit der Pfähle muss für jeden Standort nachgewiesen werden. Die in [1.1.1] ermittelten und in [1.1.11] aufgeführten Pfahlschnittgrößen dienen lediglich der Vorbemessung und dürfen nicht für die Auslegung von Pfahlgründungen verwendet werden.
- 6.5 Die Drehfedersteifigkeit des Fundaments hängt von den Bodenkennwerten und dem Pfahlssystem ab und ist für jeden Standort zu bestätigen.

## 7 Zusammenfassung

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

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

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

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

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

Der stellvertretende Leiter



Dipl.-Ing. (FH) S. Möller



An der Prüfung beteiligt:  
Dipl.-Ing. (FH) / M.Sc. U. Lingslebe

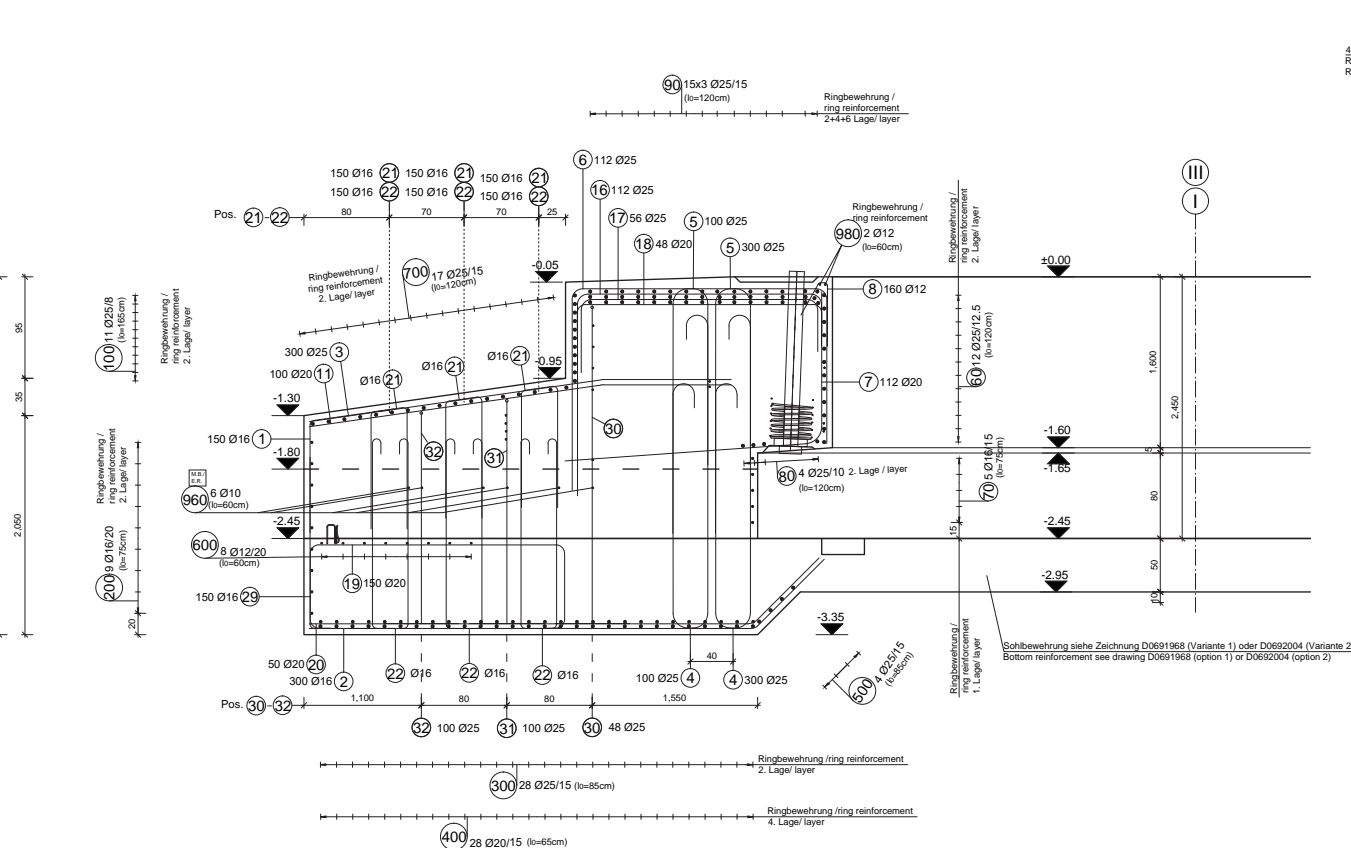




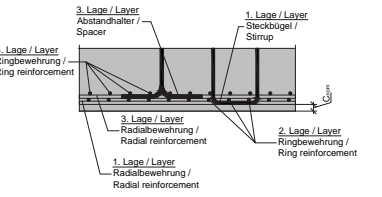




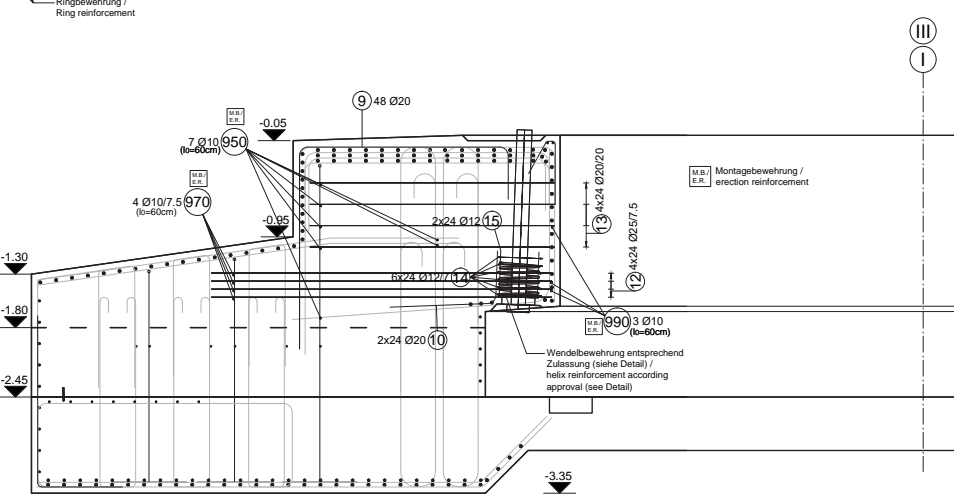
Schnitt / Cross section A-A  
Maßstab / scale 1:25



Untere Lagen / Bottom layers



Schnitt / Cross section B-B  
Maßstab / scale 1:25



Die Pfahlbewehrung erfolgt standardmäßig im Rahmen der Pfahlplatte.  
Die zur Kräfteübertragung des Pfahlzugkraft erforderliche Längsbewehrung der Pfähle ist in der Fundamentplatte nach DIN EN 1992-1-1 zu verankern.  
Mindest-Verankerungslänge in der Pfahlplatte L<sub>an</sub> ≥ 21d<sub>st</sub>.  
The design must be based on the actual calculation of the pile for each site.  
The required reinforcement of the piles for the pile tension force has to be anchored in the base plate according to DIN EN 1992.  
Minimum anchorage length in foundation plate L<sub>an</sub> ≥ 21d<sub>st</sub>.

**Allgemeines:**  
Zwischen Baugrund und Fundament ist eine Sauberschicht C12/15 anzufordern.  
Für den Unterbau (Subsoil) sind die Anforderungen nach DIN 18252 bezüglich der Elvertheit einzuhalten.  
Ausführung Unterbau (Sauberschicht) nach Spezifikation ENERCON.  
Die Auflage des Verfüllmaterials ist aus statischer Sicht erforderlich. Die Mindestwerte des Verfüllmaterials sind anzufordern.  
Ein Schwellen der Bewehrungsbauart, auch Heftbewehrungen sind anzufordern.  
Es sind ausreichende Betondeckung und Bewehrung anzufordern.  
Der Beton ist mit Hilfe von Einbaubohrer oder -schichten einzubringen (maximale Fallhöhe 50cm).  
Für eine Betondeckung mit rechnerischer Betondeckung anzufordern.  
Die Frischbetondeckung ist anzufordern.  
Für eine Betondeckung bei niedrigen Temperaturen ist in jedem Fall eine Betondeckung anzufordern.  
Für die Fundamentplatte sind die Anforderungen an die Nachbehandlung gemäß DIN EN 13707 mit den zusätzlichen nationalen Anwendungsregeln zu berücksichtigen.  
Die optimalen Abmessungen für die Fundamentplatte sind nach DIN EN 1992-1-1 mind. gemäß (µ0.6) anzufordern.  
Bei der Ausführung nach DIN EN 13707 in Kombination mit den zugehörigen rechnerischen Berechnungen zu beachten.  
Die Materialspezifikation Beton (DIN EN 12620) von der ENERCON GmbH ist zu beachten.  
Die ENERCON-Spezifikationen und technischen Anweisungen zur Herstellung von Fundamenten sind zu beachten.  
Maßgebender Zwang aus Ableiten der Hydratationswärme (hoher Zwang) Annahme in der Statik Berechnung fu=0.57m<sub>cr</sub>.

**General:**  
Between subsoil and base a substrate C12/15 is required.  
For the subsoil (subsoil) the requirements of DIN 18252 regarding the liveliness have to be observed.  
Design of subsoil (subsoil) according to specifications ENERCON.  
The weight of the filling material is statically necessary, the minimum values of the unit weight of the filling material must be met.  
The starting of the base and the gradient of the base according to specifications ENERCON.  
In the area of the mounting parts (stressing anchorage) the concrete is to compact carefully, avoid air inclusions. The minimum concrete compressive strength at the time of prestressing must be equal to concrete compressive strength class C35/45.  
A welding of the reinforcement bars, including cast welds are not allowed.  
Sufficient gaps for concrete fill and compaction have to be arranged.  
The concrete has to be placed by using installation tubes or hoses (maximum drop height = 50cm).  
There is to apply a concrete with low hydration heat.  
The properties of the fresh concrete, based on location, have to be determined by a concrete technologist.  
For concreting at low temperatures, a concrete technologist is to consult, in each case.  
For the foundation concrete the curing requirements according to DIN EN 13707 in addition with the national application rules have to be considered.  
The optimal construction joints in the foundation plate has to be carried out min. (µ0.6) according to DIN EN 1992-1-1.  
For the construction DIN EN 13707 in combination with the associated national application rules has to be observed.  
The reinforced steel material specification (DIN EN 10278) from ENERCON GmbH has to be considered.  
The ENERCON foundation specifications and technical instructions for manufacturing of foundations have to be observed.  
Decisive constraint due to heat of hydration (early constraint). Assumption in the structural calculation: fu=0.57m<sub>cr</sub>.

**Mindestwerte der Biegegedrucktendruck nach DIN EN 1992-1-1**  
Minimum values of concrete strength according to DIN EN 1992-1-1

Verleihen beton cast concrete	Beton concrete	Betonstahl reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Feuchtklimatkategorie humidity class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
identifiziert above CJ	C35/45	B 500B	OK2	WF	458,0
unterschrieben below CJ	C35/45	B 500B	OK2	WF	28,0
Bodenplatte foundation slab	C35/45	B 500B	OK2	WF	28,0

**Angaben entsprechend DIN EN 206-1 und DIN EN 1992-1-1**  
specification according to DIN EN 206-1 and DIN EN 1992-1-1

Bauglied element	Beton concrete	Betonstahl reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Feuchtklimatkategorie humidity class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
identifiziert above CJ	C35/45	B 500B	OK2	WF	458,0
unterschrieben below CJ	C35/45	B 500B	OK2	WF	28,0
Bodenplatte foundation slab	C35/45	B 500B	OK2	WF	28,0

**Betondeckung / concrete cover**

Vorbauart / allowance	innen / internal	außen / external	reiner / internal	Feuchtklimatkategorie humidity class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
Mindestwert Verleihen beton Bewehrungslage	40 mm	50 mm	50 mm		
normal dimension of concrete cover for the reinforcement layer	40 mm	50 mm	50 mm		

**Besondere Anforderungen / special requirements**

Bauglied element	Beton concrete	Betonstahl reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Feuchtklimatkategorie humidity class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
Größtkorn im Bereich der unteren und oberen Bewehrungslage normal value of maximum grain size aggregates by bottom and upper reinforcement layer in the core					16 mm
Größtkorn im mittleren Fundamentbereich normal value of maximum grain size aggregates in the other parts					32 mm
Zement mit niedriger Hydratationswärmeabgabe value of cement with low hydration heat					NW / (LH)
Konkreteigenschaften / consistency classes					F3 / F3
Im Bereich der Korsole (unten) / in the area of the corbe (bottom)					F3 / F3

**Sauberschicht / binding layer**

Bauglied element	Beton concrete	Betonstahl reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Feuchtklimatkategorie humidity class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
C12/15					22,8

**Besondere Anforderungen / special requirements**

Bauglied element	Beton concrete	Betonstahl reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Feuchtklimatkategorie humidity class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
Spannverfahren / prestressing system					
Z-13-143					
ETA-10-005					
BBR VY CNA CMB SP 04+06-105 1650 1C					

**Zugehörige Berechnungen / respective drawings**

Zeichnung / drawing	Spezifikation / specification	Rechnung / calculation
D091962	D091963	D091964
D091965	D091966	D091967
D091968	D091969	D091970
D091971	D091972	D091973

**Überprüfung / certification**

Prüfung / certification	Standort / location	Datum / date	Von / by
8115 022 604-7 ER Rev. 0		21.02.2019	VU / AN
Structural Design Evaluated			

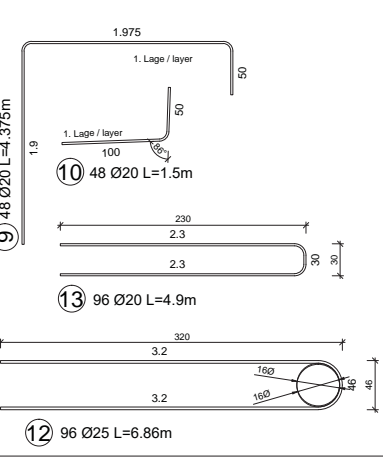
**Berechnungsplan / calculation drawing**

Plan / sheet	Datum / date	Von / by	Proj. / project
E-138 EP3-HT-131-ES-C-02	26.10.2018		
U. Linschke	26.10.2018		
	26.10.2018		

**TgMA (Hauptzeugen) / DFB (pulled out)**

Zeichnung / drawing	Standort / location	Datum / date	Von / by
26.10.2018 AH	26.10.2018 AN	26.10.2018 GO	

je Spannglied / each tendon



**Pos. 950 Ø10; l=60cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
950.1	8.50	5.645	4	38.00
950.2	10.20	5.965	4	40.00
950.3	10.75	6.444	4	43.00
950.4	11.10	6.900	4	44.00
950.5	9.75	7.244	5	48.75
950.6	9.50	7.589	5	48.50
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>253.7</b>

**Pos. 960 Ø10; l=60cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
960.1	8.50	5.645	4	38.00
960.2	10.20	5.965	4	40.00
960.3	10.75	6.444	4	43.00
960.4	11.10	6.900	4	44.00
960.5	9.75	7.244	5	48.75
960.6	9.50	7.589	5	48.50
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>253.7</b>

**Pos. 970 Ø10; l=60cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
970.1	10.75	6.444	4	43.00
970.2	10.75	6.444	4	43.00
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>172.0</b>

**Pos. 980 Ø12; l=60cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
980.1	7.90	3.687	3	23.70
980.2	8.00	3.912	3	24.00
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>47.7</b>

**Pos. 300 Ø25; s=15.0; l=85cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
300.1	7.40	4.145	4	29.60
300.2	7.60	4.295	4	30.40
300.3	7.85	4.445	4	31.40
300.4	8.10	4.595	4	32.40
300.5	8.35	4.745	4	33.40
300.6	8.60	4.895	4	34.40
300.7	8.85	5.045	4	35.40
300.8	9.10	5.195	4	36.40
300.9	9.35	5.345	4	37.40
300.10	9.60	5.495	4	38.40
300.11	9.85	5.645	4	39.40
300.12	10.10	5.795	4	40.40
300.13	10.35	5.945	4	41.40
300.14	10.60	6.095	4	42.40
300.15	10.70	6.245	4	42.80
300.16	10.90	6.395	4	43.60
300.17	11.10	6.545	4	44.40
300.18	11.30	6.695	4	45.20
300.19	11.50	6.845	4	46.00
300.20	11.70	6.995	4	46.80
300.21	11.90	7.145	4	47.60
300.22	12.10	7.295	4	48.40
300.23	12.30	7.445	4	49.20
300.24	12.50	7.595	4	50.00
300.25	12.70	7.745	4	50.80
300.26	12.90	7.895	4	51.60
300.27	13.10	8.045	4	52.40
300.28	13.30	8.195	4	53.20
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>1158.1</b>

**Pos. 400 Ø20; l=65cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
400.1	7.20	4.295	4	29.60
400.2	7.40	4.445	4	30.40
400.3	7.60	4.595	4	31.20
400.4	7.80	4.745	4	32.00
400.5	8.00	4.895	4	32.80
400.6	8.20	5.045	4	33.60
400.7	8.40	5.195	4	34.40
400.8	8.60	5.345	4	35.20
400.9	8.80	5.495	4	36.00
400.10	9.00	5.645	4	36.80
400.11	9.20	5.795	4	37.60
400.12	9.40	5.945	4	38.40
400.13	9.60	6.095	4	39.20
400.14	9.80	6.245	4	40.00
400.15	10.00	6.395	4	40.80
400.16	10.20	6.545	4	41.60
400.17	10.40	6.695	4	42.40
400.18	10.60	6.845	4	43.20
400.19	10.80	6.995	4	44.00
400.20	11.00	7.145	4	44.80
400.21	11.20	7.295	4	45.60
400.22	11.40	7.445	4	46.40
400.23	11.60	7.595	4	47.20
400.24	11.80	7.745	4	48.00
400.25	12.00	7.895	4	48.80
400.26	12.20	8.045	4	49.60
400.27	12.40	8.195	4	50.40
400.28	12.60	8.345	4	51.20
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>1167.4</b>

**Pos. 700 Ø25; s=15.0; l=120cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
700.1	10.50	5.895	4	42.00
700.2	8.80	6.045	5	44.00
700.3	9.00	6.195	5	45.00
700.4	9.20	6.345	5	46.00
700.5	9.40	6.495	5	47.00
700.6	9.60	6.645	5	48.00
700.7	9.80	6.795	5	49.00
700.8	10.00	6.945	5	50.00
700.9	10.20	7.095	5	51.00
700.10	10.40	7.245	5	52.00
700.11	10.60	7.395	5	53.00
700.12	10.80	7.545	5	54.00
700.13	11.00	7.695	5	55.00
700.14	11.20	7.845	5	56.00
700.15	11.40	7.995	5	57.00
700.16	11.60	8.145	5	58.00
<b>Summe L / current meter =</b>				<b>899.2</b>

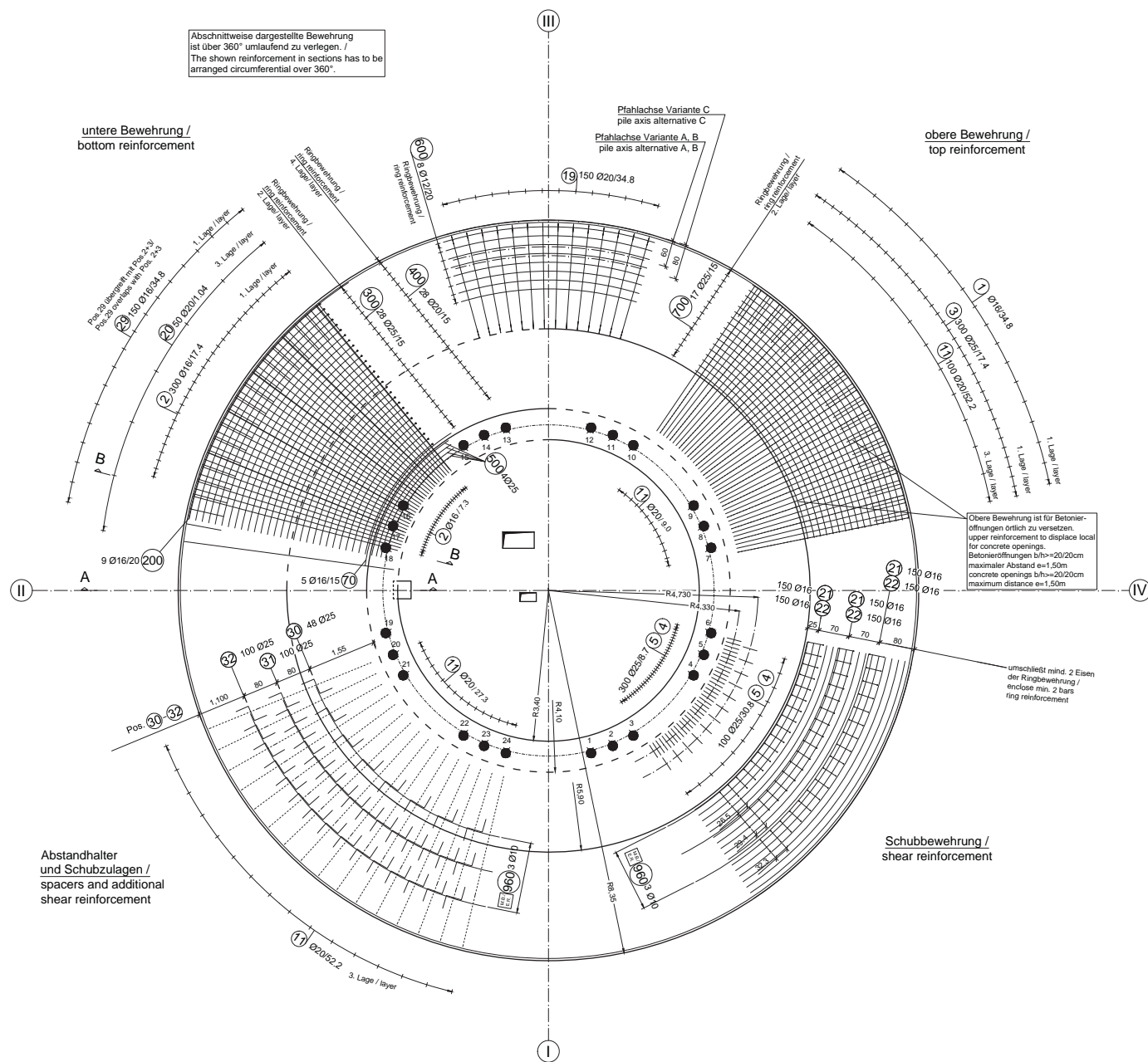
**Pos. 80 Ø25; s=10.0; l=120cm**

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl	Gesamtlänge [m]
80.1	8.80	3.445	4	35.20
80.2	9.00	3.595	4	36.00
80.3	9.20	3.745	4	36.80
80.4	9.40	3.895	4	37.60
80.5	9.60	4.045	4	38.40
80.6	9.80	4.195	4	39.20
80.7	10.00	4.345	4	40.00
80.8	10.20	4.495	4	40.80
80.9	10.40	4.645	4	41.60
80.10	10.60	4.795	4	42.40
80.11	10.80	4.945	4	43.20
80.12	11.00	5.095	4	44.00
80.13	11.20	5.245	4	44.80
80.14	11.40	5.395	4	45.60
80.15	11.60	5.545	4	46.40
80.16	11.80	5.695	4	47.20
80.17	12.00	5.845	4	48.00
80.18	12.20	5.995	4</	

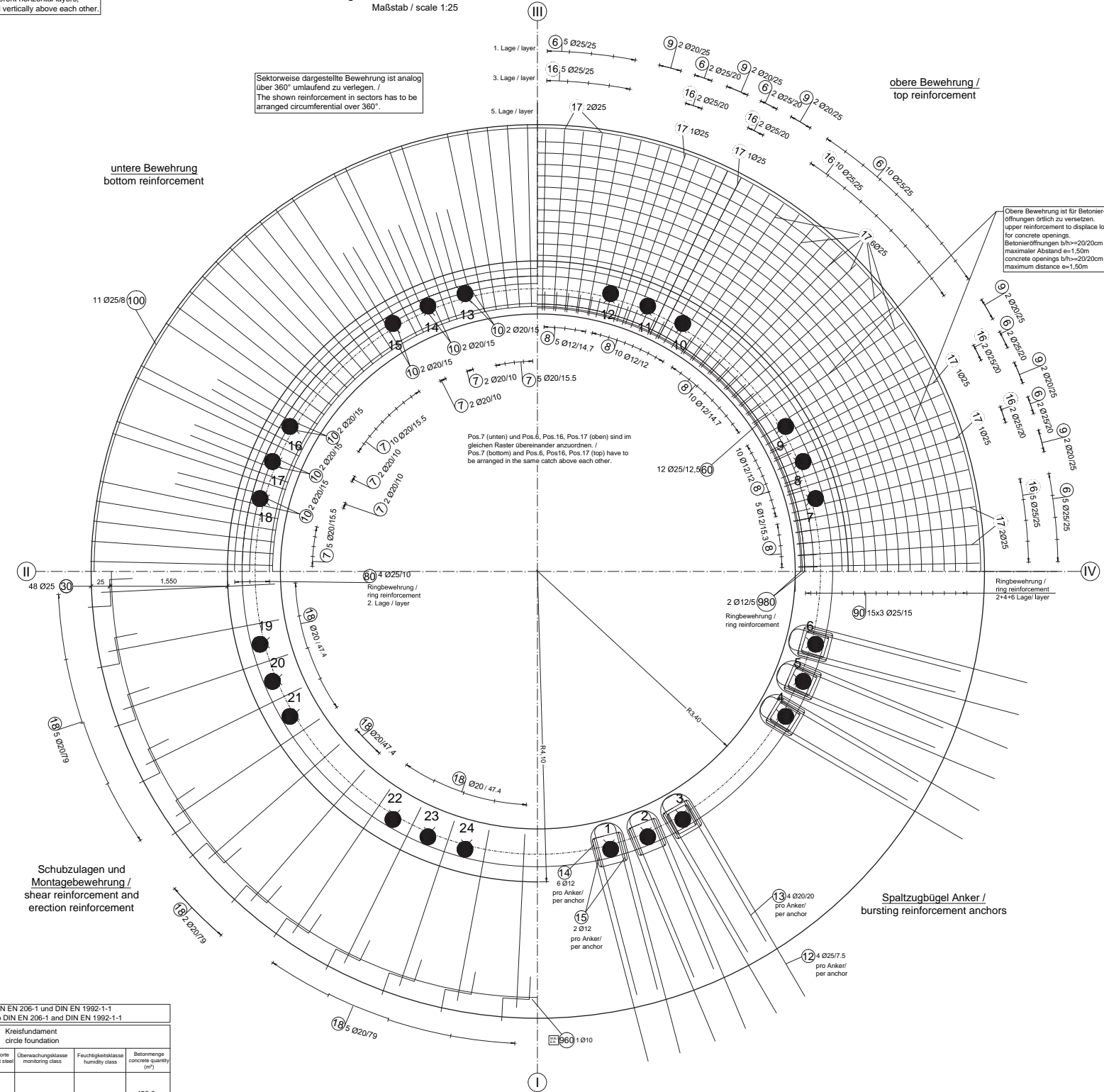


Ring- und Radialbewehrung: In getrennten horizontalen Lagen sind die Stäbe jeder einzelnen Lage vertikal übereinander anzuordnen.  
 Ring and radial reinforcement: In different horizontal layers, the bars of each layer have to be arranged vertically above each other.

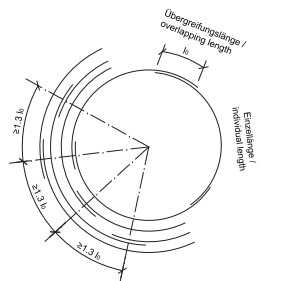
Draufsicht Fundamentsporn / Top view foundation slope  
 Maßstab / scale 1:50



Bewehrung Konsole / Reinforcement corbel  
 Maßstab / scale 1:25



Abstandhalter und Schubzulagen / spacers and additional shear reinforcement

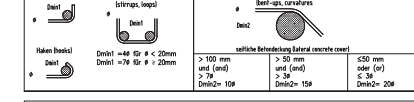


Stöße sind umlaufend örtlich zu versetzen >1.3 l<sub>z</sub> / change arrangements circumferentially > 1.3 l<sub>z</sub>  
 Anteil der versetzten Stöße <math>\leq 33\%</math> / percentage of displaced arrangements <math>\leq 33\%</math>  
 Überlappungslänge / overlapping length (l<sub>z</sub>) siehe Positionstabelle / overlappings length (l<sub>z</sub>) see table position

Angaben entsprechen DIN EN 206-1 und DIN EN 1992-1-1  
 specification according to DIN EN 206-1 and DIN EN 1992-1-1

Kreisfundament circle foundation				
Baumteil element	Beton concrete	Betonstahlbeton reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
oberhalb AF above CJ	C35/45	B 500B	UK2	458,0
unterhalb AF below CJ	C35/45	B 500B	UK2	458,0
Büchlerplatte foundation slab	C35/45	B 500B	UK2	28,0
Expositionskategorie exposure class	außen / external XC4, XF1, XA1		innen / internal XC3	---
Betondeckung / concrete cover				
Vorhaltemaß / allowance	Δ c...			15 mm
Mindestwert Verlagmaß der T-Bewehrungslage	C...			40 mm 50 mm
nominal dimension of concrete cover for the T-reinforcement layer	C...			50 mm
Besondere Anforderungen / special requirements				
Großkorn im Bereich der unteren und oberen Bewehrungslage und in der Konsole nominal value of maximum grain size aggregates by bottom and upper reinforcement layer in the corbel				16 mm
Großkorn im mittleren Fundamentbereich nominal value of maximum grain size aggregates in the other parts				32 mm
Zement mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung value of cement with low hydration heat				NW / (LH)
Konsistenzklasse / consistency classes im Bereich der Konsole (unten) / in the area of the corbel (bottom)				F3 / S3
Die DBV-Merkblätter "Betondeckung und Bewehrung" und "Abstandhalter" sind zu berücksichtigen. The DBV data sheets "concrete cover and concrete reinforcement" and "spacer" have to be considered				FS / F4
Saubere Bewehrungsschicht blinding layer				
Baumteil element	Beton concrete	Betonstahlbeton reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Betonmenge concrete quantity (m <sup>3</sup> )
C12/15	---	---	---	22,8
Expositionskategorie exposure class	außen / external X0		innen / internal X0	---
Besondere Anforderungen / special requirements				
---				---

Mindestwerte der Biegeleitendurchmesser D<sub>min</sub> gemäß DIN EN 1992-1-1  
 minimum mandrel diameter D<sub>min</sub> according to DIN EN 1992-1-1



Spannverfahren / prestressing system:  
 Z-133-151  
 VT-CMZ 4+04-163 KD 1820 18  
 ETA-10-0005  
 BBR-VT CONA CMB SP 04-04 06-150 1800 IC

Die Hülshöhre der Spannvorrichtung sind in ihrer Lage genau einzurichten und so fixieren. Abweichungen der Spannvorrichtung von der Sollage sind auf den Wert Δ <math>0,3</math> zu begrenzen.  
 The sleeve of the cladding tubes for the prestressing tendons shall be exactly calibrated and fixed. Deviations of the cladding tubes from the intended axis have to be limited to Δ <math>= 0,3</math>.

An den Spannvorrichtungsführungen ist sicherzustellen, dass die Litzen im Bereich des Aufbaus und Übergriffbereiches nicht anliegen. Dies ist nach dem Vorspannen vor Ort zu überprüfen und das Ergebnis in der Bauwerksakte zu dokumentieren.  
 At the feedthrough of the tendons it is to be ensured that the strands in the region of the recess and transition pipe are not applied. After prestressing this has to be checked on site and the result has to be noted in the construction document.  
 ENERCON-Spezifikationen / Arbeitshinweise sind zusätzlich zu berücksichtigen.  
 ENERCON-specifications / work instructions must be considered

Allgemeines:  
 - Zwischen Baugrund und Fundament ist eine Saubere Bewehrungsschicht C12/15 anzuordnen.  
 - Für den Unterbau (Saubere Bewehrungsschicht) sind die Anforderungen nach DIN 18202 bezüglich der Ebenheit einzuhalten.  
 - Ausführung Unterbau (Saubere Bewehrungsschicht) nach Spezifikation ENERCON.  
 - Die Art der Verfüllungsmaterialien ist aus statischer Sicht erforderlich, die Mindestwerte der Wichte des Verfüllungsmaterials sind einzuhalten.  
 - Die Erdung des Fundamentes sowie der Verkauf der Leitungskabel nach Angabe ENERCON.  
 - Im Bereich der Einbauelemente (Sperranker) ist der Beton sorgfältig zu verdichten. Luftschlüsse sind zu vermeiden.  
 - Die Mindestbetondeckung zum Zeitpunkt der Verpressung muss die Betondeckungskategorie C30/37 entsprechen.  
 - Ein Schweißen der Bewehrungsstäbe, auch Heftschweißungen sind untersagt.  
 - Es sind ausreichend Beton- und Röhrlitzen anzuordnen.  
 - Der Beton ist mit Hilfe von Einbauelementen oder -schläuchen einzubringen (maximale Fallhöhe 50cm).  
 - Es ist ein Beton mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung zu verwenden.  
 - Die Betonoberflächen sind standortabhängig von einem Betondeckungsprüfverfahren zu kontrollieren.  
 - Für eine Betondecke bei niedrigen Temperaturen ist in jedem Fall ein Betondeckungsprüfverfahren anzuordnen.  
 - Für den Fundamentbereich sind standortabhängig von einem Betondeckungsprüfverfahren zu kontrollieren.  
 - Bei der Bauausführung ist DIN EN 13070 in Kombination mit den zugehörigen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.  
 - Die optionalen Anforderungen in der Fundamentplatte sind nach DIN EN 1992-1-1 mind. gilt (gelb) anzuordnen.  
 - Die Materialspezifikation Betonstahl (DIN EN 10080) ist zu beachten.  
 - Die ENERCON-Spezifikationen und technischen Anweisungen zur Herstellung von Fundamenten sind zu beachten.  
 - Maßgebender Zwang aus Auflagen der Hydratationswärme (Wärme-Zwang), Anweisung in der Statischen Berechnung f<sub>act</sub>=0,97f<sub>yk</sub>.

Seitenansicht:  
 Between subsoil and base a substrate C12/15 is required.  
 For the substructure (substrate) the requirements of DIN 18202 regarding the levelness have to be observed.  
 Design of substructure (substrate) according to specifications ENERCON.  
 The weight of the filling material is statically necessary, the minimum values of the unit weight of the filling material must be met.  
 The earthing of the base and the gradient of the ducts according to ENERCON.  
 In the area of the mounting parts (prestressing anchors) the concrete is to be compacted carefully, avoid air inclusions.  
 The minimum concrete compressive strength at the time of prestressing must be equal to concrete compressive strength class C30/37.  
 Welding of the reinforcement bars, including tack welds are not allowed.  
 Sufficient gaps for concrete fill and compaction have to be arranged.  
 The concrete has to be placed by using installation tubes (maximum drop height = 50cm).  
 There is to apply a concrete with low hydration development.  
 The preparation of the moist concrete, based on location, has to be determined by a concrete technologist.  
 For concreting at low temperatures, a concrete technologist is to consult, in each case.  
 For the foundation concrete the curing requirements according to DIN EN 13070 in addition with the national application rules have to be considered.  
 The optional construction joints in the foundation plans has to be carried out min. smooth (gelb) acc. to DIN EN 1992-1-1.  
 For the construction DIN EN 13070 in combination with the associated national application rules has to be observed.  
 The reinforcing steel material specification (DIN EN 10080) from ENERCON GmbH has to be considered.  
 The ENERCON foundation specifications and technical instructions for manufacturing of foundations have to be considered.  
 Decisive constraint due to heat of hydration (early constraint). Assumption in the structural calculation: f<sub>act</sub>=0,97f<sub>yk</sub>.

Zugehörige Zeichnungen / respective drawings	Zugehörige statische Berechnungen / respective design calculation
Schnittriss / section drawing	D0891962 D0891963 D0891964 D0891965
Bewehrungsplanung / Reinforcement drawing in 2D/3D	D0891966 D0891967 D0891968 D0892004
Bewehrungsplanung in 3D/4D / Reinforcement drawing 3D/4D	D0891974 D0892005
Statische Berechnung / Design calculation	E18-039 DF18 D0892014



Item / Nr.	Change / Datum	Author / Proj. No.	Rev. / Rev.
-1	Anpassung Position Leerrohre		21.02.2019 VV / AN
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			

Projektnummer / Certification stamp: 8115 022 604-7 EII Rev. 6  
 Structural Design Evaluated

U. Lügmeier  
 U. Lügmeier  
 2019-05-21

Eintragung / Registration: 26.10.2018 AN  
 26.10.2018 AN  
 26.10.2018 AN

Projekt / Project: E-138 EP3-HT-131-ES-C-02  
 Expert: TÜV NORD CERT GmbH

Planzahl / Content: Nr.: T-7003/19-3  
 Bewehrungsplan 2 / Reinforcement drawing 2  
 vom / of: 12. Sep. 2019

TgMa (Heranzugewogen) / DF18 (pulled out)

Gezeichnet / Drawn: 26.10.2018 AH  
 Geprüft / Checked: 26.10.2018 AN  
 Freigegeben / Approved: 26.10.2018 GO

Hilfsblätter / sheets: wie angezeigt / as shown  
 Plan Nr. / plan no.: D0891967-1  
 Blattzahl / Sheet no.: 1  
 Blattgröße / Sheet size: Projekt-Nr./Project no.: E-138-039 DF18

# Obere Sohlbewehrung und Abstandhalter / Top reinforcement foundation slab and spacers

Maßstab / scale 1:25



### Stahlisole Bodenplatte / steel schedule base plate

Pos.	Anzahl / Number gesamt / total	Länge / Length (m)	Gesamtlänge / Subtotal (m)
40	8	16	3,20
42	150	20	3,79
43	12	20	2,00
44	4	16	1,60
46	26	16	2,01
47	18	16	1,98
48	24	16	2,20
49	24	16	1,96
50	48	16	5,79
51	14	16	4,23
52	6	16	0,92
53	68	16	6,46
54	14	16	2,24
55	4	16	0,29
56	6	16	0,92
57	60	16	6,24
58	6	16	0,92
59	6	16	0,92
60	6	16	0,92
61	6	16	0,92
62	6	16	0,92
63	6	16	0,92
64	4	16	0,64
65	4	16	0,64
66	6	16	0,92
67	60	16	6,24
68	6	16	0,92
69	6	16	0,92
70	6	16	0,92
71	6	16	0,92
72	6	16	0,92
73	6	16	0,92
74	6	16	0,92
75	6	16	0,92
76	6	16	0,92
77	6	16	0,92
78	6	16	0,92
79	6	16	0,92
80	6	16	0,92
81	6	16	0,92
82	6	16	0,92
83	6	16	0,92
84	4	16	0,64
85	4	16	0,64
86	6	16	0,92
87	60	16	6,24
88	6	16	0,92
89	6	16	0,92
90	6	16	0,92
91	6	16	0,92
92	6	16	0,92
93	6	16	0,92
94	6	16	0,92
95	6	16	0,92
96	6	16	0,92
97	6	16	0,92
98	6	16	0,92
99	6	16	0,92
100	6	16	0,92

### Pos.44 Ø16; l=60cm

Nr.	Länge A [m]	Radius [m]	Stückzahl pro Ring	Gesamtlänge [m]
44.1	7,85	4,39	4	8
44.2	8,25	4,87	4	8

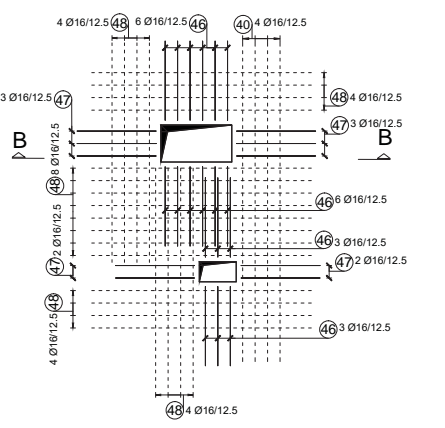
Summe L / current meter = 128,8

### Abstandhalter / Spacers

Abstandhalter / Spacer	l/dm	Gewicht / Weight [kg/2m]	Gesamtgewicht / Total weight [kg]
DBV-BT-35-B-L	46,0	2,9960	68,91

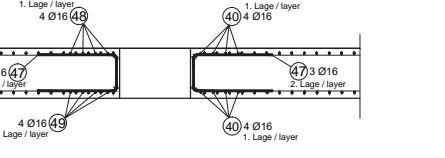
### Detail Öffnungen / openings 71/37cm und/and 37/20cm

Maßstab / scale 1:25



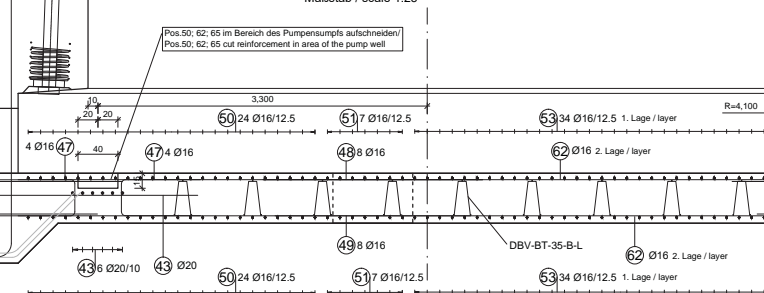
### Schnitt / Section B-B

Maßstab / scale 1:25



### Schnitt / Cross section A-A

Maßstab / scale 1:25



Pos.	Anzahl / Number gesamt / total	Länge / Length (m)	Gesamtlänge / Subtotal (m)
60.1	2	7,800	15,600
60.2	2	7,725	15,450
60.3	2	7,640	15,280
60.4	2	7,545	15,090
60.5	2	7,440	14,880
60.6	2	7,325	14,650
60.7	2	7,200	14,400
60.8	2	7,065	14,130
60.9	2	6,920	13,840
61.0	2	6,760	13,520
61.1	2	6,585	13,170
61.2	2	6,400	12,800
61.3	2	6,195	12,390
61.4	2	5,975	11,950
61.5	2	5,735	11,470
61.6	2	5,475	10,940
61.7	2	5,195	10,390
61.8	2	4,895	9,790
61.9	2	4,575	9,150
62.0	2	4,235	8,470
62.1	2	3,875	7,750
62.2	2	3,495	6,990
62.3	2	3,095	6,190
62.4	2	2,675	5,350
62.5	2	2,235	4,470
62.6	2	1,775	3,550
62.7	2	1,295	2,590
62.8	2	835	1,670
62.9	2	375	750
63.0	2	15	30

Pos.	Anzahl / Number gesamt / total	Länge / Length (m)	Gesamtlänge / Subtotal (m)
61.1	2	3,760	7,520
61.2	2	3,755	7,510
61.3	2	3,740	7,480
61.4	2	3,720	7,440
61.5	2	4,900	9,800
61.6	2	4,875	9,750
61.7	2	4,845	9,690
61.8	2	4,805	9,610
61.9	2	4,755	9,510
62.0	2	4,695	9,390
62.1	2	4,625	9,250
62.2	2	4,545	9,090
62.3	2	4,455	8,910
62.4	2	4,355	8,710
62.5	2	4,245	8,490
62.6	2	4,125	8,250
62.7	2	3,995	7,990
62.8	2	3,855	7,710
62.9	2	3,705	7,410
63.0	2	3,545	7,090
63.1	2	3,375	6,750
63.2	2	3,195	6,390
63.3	2	3,005	6,010
63.4	2	2,805	5,610
63.5	2	2,595	5,190
63.6	2	2,375	4,750
63.7	2	2,145	4,290
63.8	2	1,905	3,810
63.9	2	1,655	3,310
64.0	2	1,395	2,790
64.1	2	1,125	2,250
64.2	2	845	1,690
64.3	2	555	1,110
64.4	2	255	510
64.5	2	15	30

Pos.	Anzahl / Number gesamt / total	Länge / Length (m)	Gesamtlänge / Subtotal (m)
61.1	2	4,285	8,570
61.2	2	4,295	8,590
61.3	2	4,305	8,610
61.4	2	4,315	8,630
61.5	2	4,325	8,650
61.6	2	4,335	8,670
61.7	2	4,345	8,690
61.8	2	4,355	8,710
61.9	2	4,365	8,730
62.0	2	4,375	8,750
62.1	2	4,385	8,770
62.2	2	4,395	8,790
62.3	2	4,405	8,810
62.4	2	4,415	8,830
62.5	2	4,425	8,850
62.6	2	4,435	8,870
62.7	2	4,445	8,890
62.8	2	4,455	8,910
62.9	2	4,465	8,930
63.0	2	4,475	8,950
63.1	2	4,485	8,970
63.2	2	4,495	8,990
63.3	2	4,505	9,010
63.4	2	4,515	9,030
63.5	2	4,525	9,050
63.6	2	4,535	9,070
63.7	2	4,545	9,090
63.8	2	4,555	9,110
63.9	2	4,565	9,130
64.0	2	4,575	9,150
64.1	2	4,585	9,170
64.2	2	4,595	9,190
64.3	2	4,605	9,210
64.4	2	4,615	9,230
64.5	2	4,625	9,250
64.6	2	4,635	9,270
64.7	2	4,645	9,290
64.8	2	4,655	9,310
64.9	2	4,665	9,330
65.0	2	4,675	9,350
65.1	2	4,685	9,370
65.2	2	4,695	9,390
65.3	2	4,705	9,410
65.4	2	4,715	9,430
65.5	2	4,725	9,450
65.6	2	4,735	9,470
65.7	2	4,745	9,490
65.8	2	4,755	9,510
65.9	2	4,765	9,530
66.0	2	4,775	9,550
66.1	2	4,785	9,570
66.2	2	4,795	9,590
66.3	2	4,805	9,610
66.4	2	4,815	9,630
66.5	2	4,825	9,650
66.6	2	4,835	9,670
66.7	2	4,845	9,690
66.8	2	4,855	9,710
66.9	2	4,865	9,730
67.0	2	4,875	9,750
67.1	2	4,885	9,770
67.2	2	4,895	9,790
67.3	2	4,905	9,810
67.4	2	4,915	9,830
67.5	2	4,925	9,850
67.6	2	4,935	9,870
67.7	2	4,945	9,890
67.8	2	4,955	9,910
67.9	2	4,965	9,930
68.0	2	4,975	9,950
68.1	2	4,985	9,970
68.2	2	4,995	9,990
68.3	2	5,005	10,010
68.4	2	5,015	10,030
68.5	2	5,025	10,050
68.6	2	5,035	10,070
68.7	2	5,045	10,090
68.8	2	5,055	10,110
68.9	2	5,065	10,130
69.0	2	5,075	10,150
69.1	2	5,085	10,170
69.2	2	5,095	10,190
69.3	2	5,105	10,210
69.4	2	5,115	10,230
69.5	2	5,125	10,250
69.6	2	5,135	10,270
69.7	2	5,145	10,290
69.8	2	5,155	10,310
69.9	2	5,165	10,330
70.0	2	5,175	10,350
70.1	2	5,185	10,370
70.2	2	5,195	10,390
70.3	2	5,205	10,410
70.4	2	5,215	10,430
70.5	2	5,225	10,450
70.6	2	5,235	10,470
70.7	2	5,245	10,490
70.8	2	5,255	10,510
70.9	2	5,265	10,530
71.0	2	5,275	10,550
71.1	2	5,285	10,570
71.2	2	5,295	10,590
71.3	2	5,305	10,610
71.4	2	5,315	10,630
71.5	2	5,325	10,650
71.6	2	5,335	10,670
71.7	2	5,345	10,690
71.8	2	5,355	10,710
71.9	2	5,365	10,730
72.0	2	5,375	10,750
72.1	2	5,385	10,770
72.2	2	5,395	10,790
72.3	2	5,405	10,810
72.4	2	5,415	10,830
72.5	2	5,425	10,850
72.6	2	5,435	10,870
72.7	2	5,445	10,890
72.8	2	5,455	10,910
72.9	2	5,465	10,930
73.0	2	5,475	10,950
73.1	2	5,485	10,970
73.2	2	5,495	10,990
73.3	2	5,505	11,010
73.4	2	5,515	11,030
73.5	2	5,525	11,050
73.6	2	5,535	11,070
73.7	2	5,545	11,090
73.8	2	5,555	11,110
73.9	2	5,565	11,130
74.0	2	5,575	11,150
74.1	2	5,585	11,170
74.2	2	5,595	11,190
74.3	2	5,605	11,210
74.4	2	5,615	11,230
74.5	2	5,625	11,250
74.6	2	5,635	11,270
74.7	2	5,645	11,290
74.8	2	5,655	11,310
74.9	2	5,665	11,330
75.0	2	5,675	11,350
75.1	2	5,685	11,370
75.2	2	5,695	11,390
75.3	2	5,705	11,410
75.4	2	5,715	11,430
75.5	2	5,725	11,450
75.6	2	5,735	11,470
75.7	2	5,745	11,490
75.8	2	5,755	11,510
75.9	2	5,765	11,530
76.0	2	5,775	11,550
76.1	2</		



# Fundamentdatenblatt

# Foundation Data Sheet

**E-138 EP3-HT-131-ES-C-02**

**Herausgezogene Tiefgründung mit Auftrieb**  
**Pulled-out pile foundation with buoyancy**

**WZ 2 GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)**  
**WTC IIIA (IEC 61400-1, 3<sup>rd</sup> edition, 2005-08)**

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung

Nr.: ..... T-7003/19 - 3 Rev. 0 .....

vom ..... 12. Sep. 2019 .....



<b>Herausgeber</b>	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109 E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360
<b>Urheberrechtshinweis</b>	<p>Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.</p> <p>Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.</p> <p>Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.</p> <p>Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.</p>
<b>Geschützte Marken</b>	Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.
<b>Änderungsvorbehalt</b>	Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.
<b>Publisher</b>	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Germany Phone: +49 4941 927-0 ▪ Fax: +49 4941 927-109 E-mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Managing Directors: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Local court: Aurich ▪ Company registration number: HRB 411 VAT ID no.: DE 181 977 360
<b>Copyright notice</b>	<p>The entire content of this document is protected by copyright and – with regard to other intellectual property rights – international laws and treaties. ENERCON GmbH holds the rights in the content of this document unless another rights holder is expressly identified or obviously recognisable.</p> <p>ENERCON GmbH grants the user the right to make copies and duplicates of this document for informational purposes for its own intra-corporate use; making this document available does not grant the user any further right of use. Any other duplication, modification, dissemination, publication, circulation, surrender to third parties and/or utilisation of the contents of this document – also in part – shall require the express prior written consent of ENERCON GmbH unless any of the above is permitted by mandatory legislation.</p> <p>The user is prohibited from registering any industrial property rights in the know-how reproduced in this document, or for parts thereof.</p> <p>If and to the extent that ENERCON GmbH does not hold the rights in the content of this document, the user shall adhere to the relevant rights holder's terms of use.</p>
<b>Registered trademarks</b>	Any trademarks mentioned in this document are intellectual property of the respective registered trademark holders; the stipulations of the applicable trademark law are valid without restriction.
<b>Reservation of right of modification</b>	ENERCON GmbH reserves the right to change, improve and expand this document and the subject matter described herein at any time without prior notice, unless contractual agreements or legal requirements provide otherwise.



**Dokumentinformation / Document details**

<b>Dokument-ID</b> Document ID	D0704630-3
<b>Vermerk</b> Note	Originaldokument Original document

<b>Datum</b> Date	<b>Sprache</b> Language	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b> Plant / Department
2019-07-02	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

**Ergänzende Angaben / Additional notes**

<b>Angaben zum Original (ger;eng)</b> Original document details		<b>Angaben zur Übersetzung (--)</b> Translation details	
Erstellt/Datum: Created/Date:	Villada Gonzalez, J. / 2018-05-17	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Behrns, M. / 2018-05-17	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

**Revisionen / Revisions**

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2018-05-17	Dokument erstellt Document created	JAV
1	2019-02-14	Ergänzung Leerrohr-Optionen 1 (10x DN160) und 2 (18x DN160) Addition of duct options 1 (10x DN/OD 160) and 2 (18x DN/OD 160)	KCY
2	2019-02-28	Stahlgewicht B500 aktualisiert / steel weight B500 updated	KCY
3	2019-07-02	Datum Lastenvergleich aktualisiert / date of load comparison updated	KCY



Dieses Dokument wurde auf Anfrage bzw. für einen bestimmten Auftrag verschickt. Der Empfänger wurde nicht registriert. Der Empfänger wird bei Änderung nicht automatisch informiert.

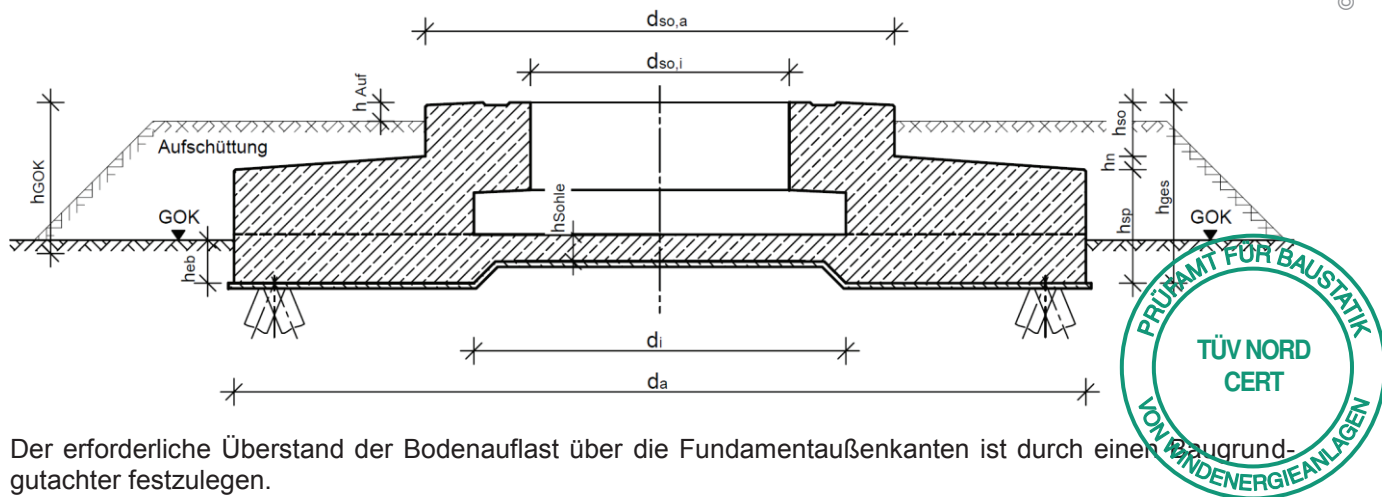
This document has been forwarded upon request or with regard to a specific order. The recipient has not been registered. The recipient will not be automatically notified about any amendments.

## 1 Allgemeine Angaben / General information

Typenstatik	H+P Ingenieure GmbH	<i>Design-specific structural analysis</i>
Herausgezogene Tiefgründung mit Auftrieb	Ø 16,70 m	<i>Pulled-out pile foundation with buoyancy</i>
Auftrag / Datum	E18-039, 31.01.2019	<i>Order no. / date</i>
Lastenvergleich	ENERCON GmbH	<i>Load comparison</i>
Datum	02.07.2019	<i>Date</i>

## 2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

<b>Außendurchmesser</b>	$d_a$	16,70	m	<b>Outer diameter</b>
<b>Innendurchmesser</b>	$d_i$	8,20	m	<b>Inner diameter</b>
<b>Sockeldurchmesser - außen</b>	$d_{so,a}$	11,80	m	<b>Base diameter - outside</b>
<b>Sockeldurchmesser - innen</b>	$d_{so,i}$	6,80	m	<b>Base diameter - inside</b>
<b>Pfahlkreisdurchmesser Var. A, B, C</b>	$d_p$	15,50	m	<b>Pile ring diameter opt. A, B, C</b>
<b>Pfahlkreisdurchmesser Var. D</b>	$d_p$	15,10	m	<b>Pile ring diameter opt. D</b>
<b>Fundamenthöhe</b>	$h_{ges}$	3,35	m	<b>Foundation height</b>
<b>Sockelhöhe</b>	$h_{so}$	0,95	m	<b>Base height</b>
<b>Höhe Spornneigung</b>	$h_n$	0,35	m	<b>Spur incline height</b>
<b>Spornhöhe</b>	$h_{sp}$	2,05	m	<b>Spur height</b>
<b>Differenz Fundamentoberkante - GOK</b>	$h_{GOK}$	2,55	m	<b>Difference between foundation top edge and ground level</b>
<b>Differenz Fundamentoberkante - Oberkante Aufschüttung</b>	$h_{Auf}$	0,20	m	<b>Difference between foundation top edge and top edge of backfill</b>
<b>Einbindetiefe</b>	$h_{eb}$	0,80	m	<b>Embedment depth</b>
<b>Höhe der Fundamentsohle</b>	$h_{Sohle}$	0,50	m	<b>Height of foundation bottom</b>
<b>Durchmesser der Fundamentsohle (gemittelt)</b>	$d_{Sohle}$	7,80	m	<b>Diameter of foundation bottom (averaged)</b>
<b>Betongüte und Volumen</b>	C 35/45	458	m <sup>3</sup>	<b>Concrete quality and volume</b>
<b>Betonstahl und Gewicht</b>	B 500B	71,4	t	<b>Reinforcement steel and weight</b>
	B 400B	-	t	
<b>Fundamentsohle Option 1:</b>				<b>Foundation bottom option 1:</b>
<b>Betongüte und Volumen</b>	C 35/45	28	m <sup>3</sup>	<b>Concrete quality and volume</b>
<b>Betonstahl und Gewicht</b>	B 500B	4,67	t	<b>Reinforcement steel and weight</b>
	B 400B	-	t	
<b>Fundamentsohle Option 2:</b>				<b>Foundation bottom option 2:</b>
<b>Betongüte und Volumen</b>	C 35/45	28	m <sup>3</sup>	<b>Concrete quality and volume</b>
<b>Betonstahl und Gewicht</b>	B 500B	4,74	t	<b>Reinforcement steel and weight</b>
	B 400B	-	t	



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaußenkanten ist durch einen Baugrundgutachter festzulegen.  
 The required protrusion of the backfill beyond the outer edges of the foundation must be defined by a geotechnical expert.

Pfähle / Piles:			
Variante A / Option A:	45 Fertigteiltramppfähle nach außen geneigt 45 prefabricated rammed piles inclined to the outside	a / b	45/45 cm
Variante B / Option B:	39 Ortbetonrammpfähle nach außen geneigt 39 rammed in-situ concrete piles inclined to the outside	Ø	51 cm
Variante C / Option C:	33 Ortbetonrammpfähle nach außen geneigt 33 rammed in-situ concrete piles inclined to the outside	Ø	56 cm
Variante D / Option D:	25 Bohrpfähle vertikal 25 drilled piles vertical	Ø	100 cm

### 3 Mindestreh- und -wegfedersteifigkeiten Minimum rotational and translational spring stiffness

Folgende Mindestwerte sind einzuhalten:

Observe the following minimum values:

Min. Bodendrehfederkonstanten / Min. value of rotational spring  Gesamtsystem / Total system (Turm und Gründung / Tower and foundation)	k <sub>φ,stat</sub> 20000 MNm/rad
	k <sub>φ,dyn</sub> 200000 MNm/rad
Min. Bodenwegfederkonstante / Min. value of translational spring	k <sub>F,dyn</sub> 300 MN/m

Es gelten folgende Beziehungen:

The following relations apply:

$$\frac{1}{k_{\phi, \text{Gesamt}}} = \frac{1}{k_{\phi, \text{Fundament}}} + \frac{1}{k_{\phi, \text{Pfählsyste m}}}$$

$$\frac{1}{k_{\phi, \text{Total}}} = \frac{1}{k_{\phi, \text{Foundation}}} + \frac{1}{k_{\phi, \text{Pile system}}}$$

### 4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

Maximal zulässige Schiefstellung infolge Bau-  
grundsetzung in 25 Jahren bezogen auf den  
Pfahlkreisdurchmesser.

Maximum allowed misalignment due to subsoil  
settlement within 25 years, related to the pile  
ring diameter.

$$\Delta s \leq 40 \text{ mm}$$



### 5 Pfahlkräfte / Pile loads

Für den Nachweis der Pfahltragsicherheit sind  
sowohl Tragfähigkeitsnachweise wie auch Ge-  
brauchstauglichkeitsnachweise zu führen.

Documented evidence of the structural safety of  
piles requires load-carrying analyses and proof  
of serviceability.

Die Pfähle sollten aufgrund der Zugbeanspru-  
chung mindestens 5,0 m in den tragfähigen Bau-  
grund ( $q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$ ) einbinden.

Due to tensile loads, the piles should bond with  
the load-bearing subsoil for a minimum of 5.0 m  
( $q_c > 7.5 \text{ MN/m}^2$ ).

Durch einen Sachverständigen der Geotechnik  
kann diese Einbindetiefe reduziert werden

This anchoring depth can be reduced by means  
of geotechnical expertise

Es werden **nur die axialen Pfahllasten** für die  
ungünstigste Lastfallkombination angegeben.  
Die Lasten beziehen sich auf Oberkante Pfahl  
ohne Pfahleigengewicht.

**Only axial pile loads** for the worst load case  
combination are indicated. Loads refer to the  
top edge the pile without considering the pile's  
dead load.



## 5.1 Variante A: Fertigteilrammpfähle / Option A: Prefabricated rammed piles

Querschnitt a/b	45/45 cm	Cross section a/b
Anzahl	45	Quantity
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	Pile length (proof length in static calculation)
Anzahl Neigung nach außen	30 4,5:1	Quantity outward inclination
Anzahl Neigung nach außen	15 7,0:1	Quantity outward inclination

### Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	( $\gamma_F/\gamma_G$ )	$F_{Gk}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Gk}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$F_{Qk}$ in kN	$\Sigma F_k$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.00/1.00)	-644	-	-898	<b>-1542</b>
<b>Zug / Tension</b>	(1.00/1.00)	-	-598	836	<b>238</b>

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1,0$ )

Loads do not include partial safety factors  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1.0$ )

### Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	( $\gamma_F/\gamma_G$ )	$F_{Gd}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Gd}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$F_{Qd}$ in kN	$\Sigma F_d$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.10/1.35)	-785	-	-1294	<b>-2079</b>
<b>Zug / Tension</b>	(0.90/0.90)	-	-532	1232	<b>700</b>

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$ )

All loads include partial safety factors  
( $\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$ )

### Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	$F_G$	portion due to permanent loads
Anteil infolge veränderlicher Lasten	$F_Q$	portion due to varying loads
Charakteristische Lasten	$F_k$	characteristic loads
Bemessungswerte der Lasten	$F_d$	load design values
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	$\Sigma F$	sum of permanent and varying loads



## 5.2 Variante B: Ortbetonrammpfähle / Option B: Rammed in-situ concrete piles

Querschnitt Durchmesser	51 cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	39	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl Neigung nach außen	26 4,5:1	<i>Quantity outward inclination</i>
Anzahl Neigung nach außen	13 7,0:1	<i>Quantity outward inclination</i>

### Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	( $\gamma_F/\gamma_G$ )	$F_{Gk}$ in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	$F_{Gk}$ in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	$F_{Qk}$ in kN	$\Sigma F_k$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.00/1.00)	-743	-	-1114	<b>-1857</b>
<b>Zug / Tension</b>	(1.00/1.00)	-	-689	1047	<b>358</b>

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1,0$ )

*Loads do not include partial safety factors*  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1.0$ )

### Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	( $\gamma_F/\gamma_G$ )	$F_{Gd}$ in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	$F_{Gd}$ in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	$F_{Qd}$ in kN	$\Sigma F_d$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.10/1.35)	-905	-	-1612	<b>-2517</b>
<b>Zug / Tension</b>	(0.90/0.90)	-	-613	1494	<b>881</b>

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$ )

*All loads include partial safety factors*  
( $\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$ )

### Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	$F_G$	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	$F_Q$	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	$F_k$	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	$F_d$	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	$\Sigma F$	<i>sum of permanent and varying loads</i>



### 5.3 Variante C: Ortbetonrammpfähle / Option C: Rammed in-situ concrete piles

Querschnitt Durchmesser	56 cm	Cross section diameter
Anzahl	33	Quantity
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	Pile length (proof length in static calculation)
Anzahl Neigung nach außen	22 4,5:1	Quantity outward inclination
Anzahl Neigung nach außen	11 7,0:1	Quantity outward inclination

#### Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	( $\gamma_F/\gamma_G$ )	$F_{Gk}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Gk}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$F_{Qk}$ in kN	$\Sigma F_k$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.00/1.00)	-878	-	-1313	<b>-2191</b>
<b>Zug / Tension</b>	(1.00/1.00)	-	-815	1299	<b>484</b>

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1,0$ )

Loads do not include partial safety factors  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1.0$ )

#### Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	( $\gamma_F/\gamma_G$ )	$F_{Gd}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Gd}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$F_{Qd}$ in kN	$\Sigma F_d$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.10/1.35)	-1070	-	-1761	<b>-2831</b>
<b>Zug / Tension</b>	(0.90/0.90)	-	-725	1817	<b>1092</b>

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$ )

All loads include partial safety factors  
( $\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$ )

#### Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	$F_G$	portion due to permanent loads
Anteil infolge veränderlicher Lasten	$F_Q$	portion due to varying loads
Charakteristische Lasten	$F_k$	characteristic loads
Bemessungswerte der Lasten	$F_d$	load design values
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	$\Sigma F$	sum of permanent and varying loads



## 5.4 Variante D: Bohrpfähle / Option D: Drilled piles

Querschnitt Durchmesser	100 cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	25	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl vertikal	25	<i>Quantity vertical</i>

### Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	$(\gamma_F/\gamma_G)$	$F_{Gk}$ in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	$F_{Gk}$ in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	$F_{Qk}$ in kN	$\Sigma F_k$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.00/1.00)	-1159	-	-1449	<b>-2608</b>
<b>Zug / Tension</b>	(1.00/1.00)	-	-1076	1369	<b>293</b>

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1,0$ )

*Loads do not include partial safety factors*  
( $\gamma_F = \gamma_G = 1.0$ )

### Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	$(\gamma_F/\gamma_G)$	$F_{Gd}$ in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	$F_{Gd}$ in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	$F_{Qd}$ in kN	$\Sigma F_d$ in kN
<b>Druck / Compression</b>	(1.10/1.35)	-1413	-	-1952	<b>-3365</b>
<b>Zug / Tension</b>	(0.90/0.90)	-	-957	1859	<b>902</b>

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$ )

*All loads include partial safety factors*  
( $\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$ )

### Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	$F_G$	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	$F_Q$	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	$F_k$	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	$F_d$	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	$\Sigma F$	<i>sum of permanent and varying loads</i>



## 5.5 Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen/ Pile stress resultant design values

Anzahl Pfähle / number of piles		45	39	33	25
Horizontalkraft (Pfahloberkante) / <i>Horizontal force (top edge of pile)</i>	<b>H<sub>d</sub></b>	<b>91 kN*</b>	<b>117 kN*</b>	<b>123 kN*</b>	<b>141 kN*</b>
Einspannmoment in der Platte / <i>Fixed-end moment in plate</i>	<b>M<sub>d</sub></b>	<b>145 kNm*</b>	<b>205 kNm*</b>	<b>258 kNm*</b>	<b>484 kNm*</b>
Max. Moment in Pfahlmitte / <i>Max. moment at centre of pile</i>	<b>M<sub>d</sub></b>	<b>196 kNm*</b>	<b>259 kNm*</b>	<b>293 kNm*</b>	<b>509 kNm*</b>

\* in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung

\* depending on subgrade reaction

Die Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen dürfen für eine Vorbemessung verwendet werden und sind mit den Bemessungswerten der Pfahlkräfte ungünstig zu kombinieren.

*Pile stress resultant design values may be used for pre-analyses and must be unfavourably combined with pile force design values.*

Der Nachweis der inneren Tragfähigkeit ist standortabhängig unter Berücksichtigung des ENERCON-Pflichtenheftes „Nachweisführung der inneren Tragfähigkeit von Pfahlssystemen“ zu führen.

*The inner bearing capacity must be verified depending on the location, taking ENERCON's specifications document "Verification of internal pile capacity" into account.*



## 6 Lasten an der Fundamentunterkante Loads at the bottom edge of the foundation

Die hier angegebenen  $F_Z$ -Lasten enthalten ein Fundamenteigengewicht  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  und eine Bodenauflast  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$  im Trockenzustand.

*The  $F_Z$  loads specified here include a dead weight of foundation  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  and a soil weight  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$  in dry condition.*

### 6.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	$(\gamma_G / \gamma_G)$	$F_{XY}$ in kN	$F_{Z,\min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$M_{XY}$ in kN	$M_Z$ in kN
NTM DLC D.3	(1.00/1.00)	840	-28971	-26888	78214	-
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1340	-28971	-26888	121289	-9150
N / A / T	(1.00/1.00)	1440	-28971	-26888	132274	10200

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_F = 1,00$ )

*Loads do not include partial safety factors  
( $\gamma_F = 1.00$ )*

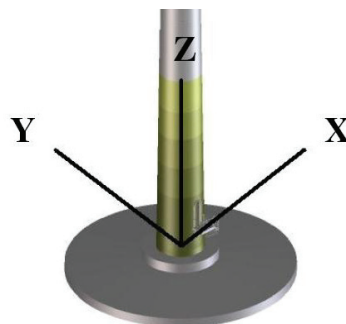
### 6.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

Lastfall Load case	$(\gamma_G / \gamma_G)$	$F_{XY}$ in kN	$F_{Z,\min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	$M_{XY}$ in kN	$M_Z$ in kN
N / A / T	(1.35/0.90)	1940	-35314	-23922	170499	-12350

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte  
( $\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$ )

*All loads include partial safety factors  
( $\gamma_{\text{Buoyancy}} = 1.10$ )*

## 7 Koordinatensystem / Coordinate system



## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3  
 RB E-138 EP3-RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02)  
 DIBt WZ 2, GK II

### - Lastannahmen für Turm und Fundament-

<b>TÜV NORD Bericht Nr.:</b>	8115920151-1 D III Rev.2
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Lastannahmen für Turm und Fundament für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Nabenhöhe 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) bezüglich der DIBt 2012 Windzone 2, Geländekategorie II
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	16.10.2018	Erste Fassung	Konstantin Konkel
1	12.03.2019	Die „Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb“ wurde in Tabelle 4.4. korrigiert. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.	Nils Kägeler
2	22.08.2019	Formale Berichtsanpassungen. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.	Nils Kägeler

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	3
2	Prüfgrundlagen .....	4
3	Einleitung .....	4
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	6
4.1	Umgebungsbedingungen .....	6
4.2	Sicherheitsklasse .....	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	7
5	Durchgeführte Prüfungen .....	9
5.1	Prüfmethode .....	9
5.2	Anmerkungen .....	10
5.3	Prüfergebnis .....	10
5.4	Schnittstellen .....	10
6	Auflagen .....	11
7	Schlussfolgerung .....	11



## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

[1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
"Lastenbericht, Turm E-138 EP3-HT-131-ES-C-02, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm, E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0736515-0d  
Rev. 0d, Datum: 19.08.2019

[1.1.2] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Maschinenbaulasten,  
"Lastenbericht, Maschinenbau E-138 EP3, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-  
RB-01 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0722965-3a  
Rev. 3a, Datum: 19.08.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

[1.2.1] ENERCON GmbH:  
Design Basis,  
"Konstruktionsbasis, E-126 EP3, E-138 EP3"  
Dokument-Nr: D0556048-5  
Rev. 5, Datum: 26.03.2018

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

[1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen, Regler (elektronisch erhalten),  
Dateiname: 07\_Zeitreihen-TUV-neu  
Eingangsdatum: 24.08.2018

[1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: Winde\_TUV-neu  
Eingangsdatum: 24.08.2018

[1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei (elektronisch erhalten),  
Dateiname: powprod  
Eingangsdatum: 24.08.2018

## 2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windenergieanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 1991-1-4/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten: 2010-12
- [2.3] DIN EN 61400-1  
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen  
(IEC 61400-1, Ausgabe 2005 + Amendment 1, Ausgabe 2010)  
Ausgabe August 2011

## 3 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung für Turm und Fundamentlasten der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist. Die geforderte Lastextrapolation nach [2.3] ist in [1.1.2] dargestellt.

Mit Rev. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden formale Berichts Anpassungen umgesetzt. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt [2.1] in Kombination mit der IEC 61400-1 Ed.3 [2.3] durchgeführt.

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01 mit einer Nabenhöhe von 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) ist ausgestattet mit:

- Hinterkantenkamm (Serrations)
- Vortexgeneratoren (VG)
- Rotorblattspitzen (Blade Tips)

Die Randbedingungen der Lastberechnung umfassen folgende klimatische Verhältnisse, die in Kapitel 4.1 näher beschrieben werden:

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3]

Die Prüfung der Lastberechnung umfasst die Prüfung der Lastfall- und Modelldefinition, eine unabhängige Analyse der Lasten sowie den Vergleich der eingereichten und parallel berechneten Lasten.

Zusätzlich zu der durch die unabhängige Analyse der Lasten betrachteten Anlagenkonfiguration deckt diese Gutachtliche Stellungnahme auch folgende Änderungen an der WEA gegenüber dem Berechnungsmodell ab:

- Geringere Leistung.
- Geringere Solldrehzahl bei geringerem oder gleichem Drehmoment, wenn die aus der Solldrehzahl berechnete Blattdurchgangsfrequenz oberhalb der 1. Turmeigenfrequenz liegt und keine Resonanzbereiche stimuliert werden.
- Änderungen an Turm- und Gondelmassen, Änderungen der Turmkonstruktion (z.B. Variation der Wanddicken, Bodendrehfeder, horizontale Wegfeder, E-Modul) sowie Abweichungen der Turmhöhe, sofern sämtliche folgende Bedingungen eingehalten werden:
  - Abweichung der Anlagenmasse um bis zu  $\pm 5\%$
  - Abweichung der Turmhöhe um bis zu  $\pm 5\%$
  - Die erste Turmeigenfrequenz im Ausgangszustand und die erste Turmeigenfrequenz im modifizierten Zustand liegen oberhalb 105% der 1P Anregung bei Solldrehzahl.
  - Alle weiteren Turmeigenfrequenzen im Ausgangszustand und im modifizierten Zustand liegen außerhalb des Intervalls [90% - 105%] der 3P Anregung der Solldrehzahl
  - Abweichung der 1. Turmeigenfrequenz sind unter folgenden Bedingungen zulässig:
    - Die erste Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> um nicht mehr als 5% erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
    - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> um nicht mehr als 5% absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.

Zusätzlich zum Turmmodell „E-138 EP3-HT-131-ES-C-02“ ist auch das das Turmmodell „E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 (ÜBERARBEITET)“, beschrieben in [1.1.1], durch diese Gutachtliche Stellungname abgedeckt.

---

<sup>1</sup> Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Umgebungsbedingungen

Die folgenden Tabellen fassen alle relevanten klimatischen sowie weitere zum Design der Anlage relevanten Umgebungsbedingungen zusammen:

	DIBt WZ 2 GK II	IEC IIIA
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	7.5 m/s	7.5 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	30.15 m/s	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	37.69 m/s	37.50 m/s
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s $I_{ref}$	0.16	0.16
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	2 m/s
Höhenexponent $\alpha$ (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent $\alpha$ für die Lastfälle DLC1.1, DLC1.3 und DLC1.5	0.0	0.0
Upflow	8°	8°

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe 130.02 m

Die Lasten sind bis zu einer mittleren Jahresluftdichte sowie bis zu einer zeitweise auftretenden maximalen Luftdichte im Produktionsbetrieb bzw. im Trudeln oder geparkten Zustand der Windenergieanlage wie in Tabelle 4.2 angegeben gültig.

	Luftdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Mittlere Jahresluftdichte	≤ 1.225
Maximale Luftdichte im Produktionsbetrieb	≤ 1.341
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	≤ 1.394

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

Darüber hinaus werden dem Design der Anlage folgende Umgebungsbedingungen zu Grunde gelegt:

Temperaturbereich im Produktionsbetrieb	-40° C bis +40° C
Extremer Temperaturbereich	-40° C bis +50° C
Netzausfälle	20 Ausfälle / Jahr
Betrieb mit vereisten Blättern	nicht berücksichtigt
Auslegungslbensdauer	25 Jahre

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen

Alle weiteren Umgebungsbedingungen werden mit den in [2.1] bzw. [2.3] angegebenen Standardwerten angenommen.

#### 4.2 Sicherheitsklasse

Die WEA ist entsprechend der in [2.3] definierten Normal-Sicherheitsklasse ausgelegt.

#### 4.3 Beschreibung des Anlagenmodells

Bei der WEA E-138 EP3 handelt es sich um eine WEA mit aktiver Windrichtungsnachführung und einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor. Die Rotordrehzahl ist variabel. Die Leistungsbegrenzung erfolgt durch Blattwinkelverstellung aller drei Rotorblätter.

Die technischen Hauptdaten der Anlage, auf denen das in Kapitel 5 beschriebene Berechnungsmodell basiert, sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Elektrische Nennleistung	3500 kW
Turmtyp	E-138 EP3-HT-131-ES-C-02 (Stahlrohr-Beton-Hybridturm)
Turmhöhe	128.18 m
Nabenhöhe	130.02 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-01
Rotorblattlänge	67.6 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	21629 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	375517 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.6 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornendrehzahl $n_r$	10.5 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	10.8 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.42 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2 - 28 m/s
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	11.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5 Hashsum "ca115b556ae02c64ea0ffbec5b08f9ea"

<sup>2</sup> Drehzahl auf die im Vollastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]
		Cylinder
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45%
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35%
	EC135F-WoRWiT-	35%
	EC128-WoRWiT-	28%
	EC122-WoRWiT-	22%
	EC116-WoRWiT-	16%
Turmstruktur	Weich: powprod.\$PJ (1.1_w20102) MD5 Hashsum "bdf19bf3e7018aaa20bfa073af74cebe" Starr: powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5 Hashsum "ca115b556ae02c64ea0ffbec5b08f9ea"	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 Hashsum "dff3aacd29a5f43b3e25f91d4cc86262" Controller Input: E-138_EP3_HT_131_ES_C_0.4.9.Daten MD5 Hashsum "5dae0c7fda9aa531204598699978883b"	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

Zur adäquaten Berücksichtigung von Fertigungs- und Montagetoleranzen wird eine aerodynamische Asymmetrie des Rotors durch Abweichung des Blattanstellwinkels sowie eine Massenexzentrizität des Rotors durch Blattmassenabweichungen entsprechend der in Tabelle 4.6 angegebenen Werte angenommen.

Massenexzentrizität des Rotors	1000 kgm
Fehler des Blattanstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3)	-0.3°; 0°; +0.3°

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern wurden nicht berücksichtigt.

Zur adäquaten Berücksichtigung der elastischen Einspannung des Turmfußes am Aufstellort wird eine repräsentative Bodenfederung entsprechend der in Tabelle 4.7 angegebenen Werte angenommen.

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr MN/m
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	100000 MNm/rad / starr

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

Die aus den oben genannten Angaben und Annahmen resultierenden, berechneten Bauteileigenfrequenzen sind in Tabelle 4.8 angegeben. Diese Eigenfrequenzen stellen die ungekoppelten Bauteilfrequenzen dar. Sie beziehen sich jeweils auf das isolierte Bauteil, das heißt, es findet bei der Berechnung der ungekoppelten Bauteileigenfrequenzen keine Interaktion mit weiteren im System befindlichen, schwingungsfähigen Komponenten statt. Die angegebenen Eigenfrequenzen des Turmes berücksichtigen eine elastische und starre Bodenfeder (Tabelle 4.7) sowie die Masse des Turmkopfes.

Komponente		Randbedingungen	Frequenz
Blatt, Biegung flapwise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.527 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.250 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.813 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.538 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.253 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.964 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.251 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.914 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.295 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.199 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.292 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.108 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02)

## 5 Durchgeführte Prüfungen

### 5.1 Prüfmethode

Die in dieser Lastrechnung angewandte Vorgehensweise, die Methodik sowie die angesetzten Grundparameter wurden auf Übereinstimmung mit den in [2.1] und [2.3] angegebenen Anforderungen überprüft.

Die der Lastberechnung zu Grunde gelegten Modelldaten wurden auf Plausibilität geprüft und im Übrigen als richtig vorausgesetzt.

Darauf basierend wurde unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 aufgelisteten und unter Kapitel 1 dokumentierten Parameter ein unabhängiges Simulationsmodell aufgebaut sowie eine unabhängige Analyse der Lasten durchgeführt. Da zur Zeit der Prüfung noch keine Beschreibung des Sicherheits- und Betriebsführungssystem vorlag, muss die Schnittstelle zwischen Lastrechnung und Sicherheits- und Betriebsführungssystem noch überprüft werden.

Die Ergebnisse der unabhängigen Berechnungen wurden mit den unter 1.1 angegebenen Ergebnissen verglichen.

## **5.2 Anmerkungen**

- 5.2.1. Im Fall von signifikanten, lastrelevanten Änderungen der zur Lastrechnung verwendeten Eingangsparameter wie z.B. strukturelle Modelldaten, Annahmen bzgl. der Aerodynamik, Reglerparameter, kann eine Neuberechnung der Lasten erforderlich sein.
- 5.2.2. Zusätzlich zu der durch unabhängige Nachrechnung geprüften Anlage, schließt diese Gutachtliche Stellungnahme auch Änderungen an der Anlage mit ein, die den Bedingungen aus Kapitel 3 entsprechen. Hierzu zählt auch das in Kapitel 3 genannte, überarbeitete Turmmodell.

## **5.3 Prüfergebnis**

Die in 1.1 und Kapitel 3 beschriebene Vorgehensweise ist zur Bestimmung der Lasten geeignet.

Die in 1.1 dargestellten Lasten konnten durch eine unabhängige Lastberechnung bestätigt werden.

## **5.4 Schnittstellen**

- 5.4.1. Relevante Parameter und Schnittstellenwerte, die über die in Kapitel 4 aufgeführten hinausgehen, sind den Dokumenten [1.1.1] - [1.1.2] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoordinatensystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastberechnung berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Prüfung beinhaltet die Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1].
- 5.4.7. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lasten am Turm beinhalten die Einflüsse aus den vorhandenen Massenexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2. Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. Bei Verwendung der Lastannahmen [1.1.1] für eine modifizierte Turmhöhe, wie in Kapitel 3 beschrieben, müssen Turm- und Fundamentlasten extrapoliert werden.



- 5.4.10. Die Betriebslasten aus [1.1.2] berücksichtigen keine Lasten für weniger als 1000 akkumulierte Zyklen.
- 5.4.11. Die bereits mit Revision 0 geprüften und mit Datum 16.10.2018 gestempelten Unterlagen behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

## 6 Auflagen

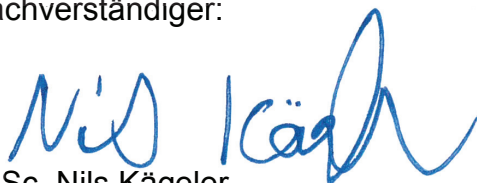
- 6.1 Beim Verlassen der Anlage darf diese nicht mit einem arretierten Rotor und gleichzeitig deaktivierter Windnachführung zurückgelassen werden.
- 6.2 Die Anlage ist mit einem Eiserkennungssystem auszustatten, das einen Betrieb mit vereisten Rotorblättern ausschließt.
- 6.3 Bei Abweichungen von mehr als  $\pm 5\%$  von der 1. Turmeigenfrequenz des in der Lastberechnung verwendeten Modells sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich.

## 7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt 2012 [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

M.Sc. Nils Kägeler



Freigegeben:

M.Sc. Konstantin Konkel



## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01,  
verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II

- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

<b>TÜV NORD Bericht Nr.:</b>	8115920151-1 D IV Rev.3
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, verschiedene Nabenhöhen bezüglich der DIBt 2012
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	16.10.2018	Erste Fassung	Konstantin Konkel
1	18.12.2018	Hinzugefügte und überarbeitete Anlagenkonfigurationen: Anpassung aller dazugehöriger Unterlagen und Daten; formale Berichts Anpassungen	Nils Kägeler
2	08.03.2019	Hinzugefügte und überarbeitete Anlagenkonfigurationen: Anpassung aller dazugehöriger Unterlagen und Daten; formale Berichts Anpassungen	Simon Wiedemann
3	12.03.2019	„Die Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb“ wurde in Tabelle 4.4. korrigiert. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst. Die Referenzen zu den Gutachtlichen Stellungnahmen für die Turmlasten wurden entsprechend angepasst.	Simon Wiedemann

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen .....	5
3	Einleitung .....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	7
4.1	Umgebungsbedingungen .....	7
4.2	Sicherheitsklasse .....	8
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	8
5	Durchgeführte Prüfungen.....	11
5.1	Prüfmethode.....	11
5.2	Anmerkungen.....	11
5.3	Prüfergebnis.....	11
5.4	Schnittstellen.....	12
6	Auflagen.....	13
7	Schlussfolgerung .....	13

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### **[1.1.1] ENERCON GmbH:**

Zertifizierungslastbericht Maschinenbaulasten,

„Lastenbericht, Maschinenbau E-138 EP3, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC“

Dokument-Nr.: D0722965-2a

Rev. 2a, Datum: 19.02.2019

#### **[1.1.2] ENERCON GmbH:**

Zertifizierungslastbericht mit Blattlastbeschreibung,

„Lastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Lasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC“

Dokument-Nr.: D0722969-2a

Rev. 2a, Datum: 19.02.2019

#### **[1.1.3] ENERCON GmbH:**

Zertifizierungslastbericht mit Blatt-Betriebslasten,

„Betriebslastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Betriebslasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC“

Dokument-Nr.: D0722967-2a

Rev. 2a, Datum: 19.02.2019

#### **[1.1.4] ENERCON GmbH:**

Zertifizierungslastbericht mit Blatt-Extremlasten,

„Extremlastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Extremlasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC“

Dokument-Nr.: D0722968-2a

Rev. 2a, Datum: 19.02.2019

#### **[1.1.5] ENERCON GmbH:**

Zertifizierungslastbericht für Blattanbauteile,

„Lastenbericht der Anbauteile Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Betriebs- und Extremlasten der Anbauteile für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC“

Dokument-Nr.: D0736544-0b

Rev. 0b, Datum: 19.02.2019

[1.1.6] ENERCON GmbH:  
Markov Matrizen (elektronisch erhalten),  
Dateiname: D0706226-2\_de\_Markovmatrizen;\_E-138\_EP3,\_Blattschnitte  
Checksumme: ba472d9a96b90c920291c1a759eaf726  
Eingangsdatum: 05.02.2019

[1.1.7] ENERCON GmbH:  
Nabenlagerklassierung (elektronisch erhalten),  
Dateiname: D0706519-2\_de\_Nabenlagerklassierung;\_E-138\_EP3  
Checksumme: 4ddb50e86e48b90afca690a34b3343bc  
Eingangsdatum: 05.02.2019

## 1.2 Dazugehörige Dokumente

### Design Basis

[1.2.1] ENERCON GmbH:  
Design Basis,  
"Konstruktionsbasis, E-126 EP3, E-138 EP3"  
Dokument-Nr: D0556048-5  
Rev. 5, Datum: 26.03.2018

### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

[1.2.2] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-HT-131-ES-C-02  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) DIBt WZ 2, GK II  
- Lastannahmen für Turm und Fundament -“  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D III  
Rev. 1, Datum: 12.03.2019

[1.2.3] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-HT-131-ES-C-01  
“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01) DIBt WZ 2, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament -“  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115022604-1 D I  
Rev. 2, Datum: 12.03.2019

[1.2.4] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-ST-111-FB-C-01  
“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 109.965 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01), DIBT WZ S, GK S -  
Lastannahmen für Turm und Fundament -“  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115022604-1 D II  
Rev. 1, Datum: 12.03.2019

[1.2.5] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-ST-131-FB-C-01,  
“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 130.078 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament - “  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D V  
Rev. 1, Datum: 12.03.2019

[1.2.6] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-ST-81-FB-C-01,  
“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-  
RB-01, NH 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament - “  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D VI  
Rev. 0, Datum: 08.03.2019

## 2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windenergieanlagen  
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,  
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 1991-1-4/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter –  
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen –  
Windlasten: 2010-12
- [2.3] DIN EN 61400-1  
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen  
(IEC 61400-1, Ausgabe 2005 + Amendment 1, Ausgabe 2010)  
Ausgabe August 2011

### 3 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung für Maschinenbau- und Rotorblattlasten, sowie Lasten von Rotorblatt-Anbauteilen, der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3, welche im folgenden Kapitel und den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.4] genauer beschrieben sind. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.7] beinhalten hierbei die Lasten verschiedener Nabenhöhen. Eine genaue Beschreibung der jeweiligen WEA inkl. Turm und Fundament ist in den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.4] zu entnehmen. Die diesem Bericht zugrundeliegenden Nabenhöhen basieren teilweise auf unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und Anlagenparametern. Die entsprechenden Werte sind hierfür jeweils den Gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.2] - [1.2.4] zu entnehmen.

Mit Rev. 3 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde „Die Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb“ in Tabelle 4.4. korrigiert. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt [2.1] in Kombination mit der IEC 61400-1 Ed.3 [2.3] durchgeführt.

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01 ist ausgestattet mit:

- Hinterkantenkamm (Serrations)
- Vortexgeneratoren (VG)
- Spezielle Rotorblattspitzen (Blade Tips)

Die Randbedingungen der Lastberechnung umfassen folgende klimatische Verhältnisse, die in Kapitel 4.1 näher beschrieben werden:

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3] mit erweitertem Temperaturbereich im Betrieb

Die Prüfung der Lastberechnung umfasst die Prüfung der Lastfall- und Modelldefinition, eine unabhängige Analyse der Lasten sowie den Vergleich der eingereichten und parallel berechneten Lasten.

Zusätzlich zu der durch die unabhängige Analyse der Lasten betrachteten Anlagenkonfiguration deckt diese Gutachtliche Stellungnahme auch folgende Änderungen an der WEA gegenüber dem Berechnungsmodell ab:

- Geringere Leistung.
- Geringere Solldrehzahl bei geringerem oder gleichem Drehmoment, wenn die aus der Solldrehzahl berechnete Blattdurchgangsfrequenz oberhalb der 1. Turmeigenfrequenz liegt und keine Resonanzbereiche stimuliert werden.

- Änderungen an Turm- und Gondelmassen, Änderungen der Turmkonstruktion (z.B. Variation der Wanddicken, Bodendrehfeder, horizontale Wegfeder, E-Modul) sowie Abweichungen der Turmhöhe, sofern sämtliche folgende Bedingungen eingehalten werden:
  - Abweichung der Anlagenmasse um bis zu  $\pm 5\%$
  - Abweichung der Turmhöhe um bis zu  $\pm 5\%$
  - Die erste Turmeigenfrequenz im Ausgangszustand und die erste Turmeigenfrequenz im modifizierten Zustand liegen oberhalb 105% der 1P Anregung bei Solldrehzahl.
  - Alle weiteren Turmeigenfrequenzen im Ausgangszustand und im modifizierten Zustand liegen außerhalb des Intervalls [90% - 105%] der 3P Anregung der Solldrehzahl
  - Abweichung der 1. Turmeigenfrequenz sind unter folgenden Bedingungen zulässig:
    - Die erste Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> um nicht mehr als 5% erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
    - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> um nicht mehr als 5% absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Umgebungsbedingungen

Die folgenden Tabellen fassen alle relevanten klimatischen sowie weitere zum Design der Anlage relevanten Umgebungsbedingungen zusammen:

	DIBt WZ 2 GK II	IEC IIIA
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	siehe [1.2.2] - [1.2.6]	7.5 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.6]	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.6]	37.50 m/s

<sup>1</sup> Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.



Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s $I_{ref}$	16 %	16 %
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	2 m/s
Höhenexponent $\alpha$ (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent $\alpha$ für die Lastfälle DLC1.1, DLC1.3 und DLC1.5	0.0	0.0
Upflow	8°	8°

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe

Die Lasten sind bis zu einer mittleren Jahresluftdichte sowie bis zu einer zeitweise auftretenden maximalen Luftdichte im Produktionsbetrieb bzw. im Trudeln oder geparkten Zustand der Windenergieanlage wie in Tabelle 4.2 angegeben gültig.

	Luftdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Mittlere Jahresluftdichte	≤ 1.225
Maximale Luftdichte im Produktionsbetrieb	≤ 1.341
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	≤ 1.394

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

Darüber hinaus werden dem Design der Anlage folgende Umgebungsbedingungen zu Grunde gelegt:

Temperaturbereich im Produktionsbetrieb	-40° C bis +40° C
Extremer Temperaturbereich	-40° C bis +50° C
Netzausfälle	20 Ausfälle / Jahr
Betrieb mit vereisten Blättern	nicht berücksichtigt
Auslegungslbensdauer	25 Jahre

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen

Alle weiteren Umgebungsbedingungen werden mit den in [2.1] bzw. [2.3] angegebenen Standardwerten angenommen.

## 4.2 Sicherheitsklasse

Die WEA ist entsprechend der in [2.3] definierten Normal-Sicherheitsklasse ausgelegt.

## 4.3 Beschreibung des Anlagenmodells

Bei der WEA E-138 EP3 handelt es sich um eine WEA mit aktiver Windrichtungsnachführung und einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor. Die Rotordrehzahl ist variabel. Die Leistungsbegrenzung erfolgt durch Blattwinkelverstellung aller drei Rotorblätter.

Die technischen Hauptdaten der Anlage, auf denen das in Kapitel 5 beschriebene Berechnungsmodell basiert, sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Elektrische Nennleistung	3500 kW
Turmtyp	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turmhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Nabenhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-01
Rotorblattlänge	67.6 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	21629 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	375517 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.6 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornendrehzahl $n_r$	10.5 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_{s^2}$	10.8 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.42 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2.5 - 28 m/s
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	11.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102 aus Zeitreihen_E-138_EP3_ST_131_FB_C_01) MD5 Hashsum "eb332aa65749e45fdb0f9a3132ef0d73"	
Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]
	Cylinder	100%
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45%
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35%
	EC135F-WoRWiT-	35%
	EC128-WoRWiT-	28%
	EC122-WoRWiT-	22%
	EC116-WoRWiT-	16%
Turmstruktur	siehe [1.2.2] - [1.2.6]	
Controller	siehe [1.2.2] - [1.2.6]	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

Zur adäquaten Berücksichtigung von Fertigungs- und Montagetoleranzen wird eine aerodynamische Asymmetrie des Rotors durch Abweichung des Blattanstellwinkels sowie eine Massenexzentrizität des Rotors durch Blattmassenabweichungen entsprechend der in Tabelle 4.6 angegebenen Werte angenommen.

<sup>2</sup> Drehzahl auf die im Vollastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

Massenexzentrizität des Rotors	1000 kgm
Fehler des Blattstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3)	-0.3°; 0°; +0.3°

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern wurden nicht berücksichtigt.

Zur adäquaten Berücksichtigung der elastischen Einspannung des Turmfußes am Aufstellort wird eine repräsentative Bodenfederung entsprechend der in Tabelle 4.7 angegebenen Werte angenommen.

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr MN/m
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	100000 MNm/rad / starr

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

Die aus den oben genannten Angaben und Annahmen resultierenden, berechneten Bauteileigenfrequenzen sind in Tabelle 4.8 angegeben. Diese Eigenfrequenzen stellen die ungekoppelten Bauteilfrequenzen dar. Sie beziehen sich jeweils auf das isolierte Bauteil, das heißt, es findet bei der Berechnung der ungekoppelten Bauteileigenfrequenzen keine Interaktion mit weiteren im System befindlichen, schwingungsfähigen Komponenten statt. Die angegebenen Eigenfrequenzen des Turmes berücksichtigen eine elastische und starre Bodenfeder (Tabelle 4.7) sowie die Masse des Turmkopfes.

Komponente		Randbedingungen	Frequenz
Blatt, Biegung flapwise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.527 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.250 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.813 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.538 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, verschiedene NH

## **5 Durchgeführte Prüfungen**

### **5.1 Prüfmethode**

Die in dieser Lastrechnung angewandte Vorgehensweise, die Methodik sowie die angesetzten Grundparameter wurden auf Übereinstimmung mit den in [2.1] und [2.3] angegebenen Anforderungen überprüft.

Die der Lastberechnung zu Grunde gelegten Modelldaten wurden auf Plausibilität geprüft und im Übrigen als richtig vorausgesetzt.

Darauf basierend wurde unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 aufgelisteten und unter Kapitel 1 dokumentierten Parameter ein unabhängiges Simulationsmodell aufgebaut sowie eine unabhängige Analyse der Lasten durchgeführt.

Die Ergebnisse der unabhängigen Berechnungen wurden mit den unter 1.1 angegebenen Ergebnissen verglichen.

### **5.2 Anmerkungen**

- 5.2.1. Im Fall von signifikanten, lastrelevanten Änderungen der zur Lastrechnung verwendeten Eingangsparameter wie z.B. strukturelle Modelldaten, Annahmen bzgl. der Aerodynamik, Reglerparameter, kann eine Neuberechnung der Lasten erforderlich sein.
- 5.2.2. Zusätzlich zu der durch unabhängige Nachrechnung geprüften Anlage, schließt diese Gutachtliche Stellungnahme auch Änderungen an der Anlage mit ein, die den Bedingungen aus Kapitel 3 entsprechen.

### **5.3 Prüfergebnis**

Die in 1.1 und Kapitel 3 beschriebene Vorgehensweise ist zur Bestimmung der Lasten geeignet.

Die in 1.1 dargestellten Lasten konnten durch eine unabhängige Lastberechnung bestätigt werden.

## **5.4 Schnittstellen**

- 5.4.1. Relevante Parameter und Schnittstellenwerte, die über die in Kapitel 4 aufgeführten hinausgehen, sind den Dokumenten [1.1.1] - [1.1.5] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] - [1.1.5] beschriebenen Berechnungskoordina-  
tensystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastbe-  
rechnung berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1]. Dies  
erfolgte bereits in den Prüfungen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.4].
- 5.4.7. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lasten am Turm beinhalten die Einflüsse aus den vorhandenen Mas-  
senexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2.  
Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus  
einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.5] wurden mit Prüfvermerk und  
Datumskennzeichnung versehen.
- 5.4.10. Die Betriebslasten aus [1.1.1] berücksichtigen keine Lasten für weniger als  
1000 akkumulierte Zyklen.
- 5.4.11. Grüneinträge in [1.1.2] und [1.1.5] sind zu beachten. Die Änderungen betreffen  
keine geprüften Lasten und sind nur editorisch.
- 5.4.12. Die bereits mit Revision 2 geprüften und mit Datum 08.03.2019 gestempelten  
Unterlagen behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

## 6 Auflagen

- 6.1 Beim Verlassen der Anlage darf diese nicht mit einem arretierten Rotor und gleichzeitig deaktivierter Windnachführung zurückgelassen werden.
- 6.2 Die Anlage ist mit einem Eiserkennungssystem auszustatten, das einen Betrieb mit vereisten Rotorblättern ausschließt.
- 6.3 Wenn die 1. Turmeigenfrequenz nicht im Bereich von +5% der 1. Turmeigenfrequenz "Starr" bis -5% der 1. Turmeigenfrequenz "Weich" liegt, sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich (siehe Kapitel 3).

## 7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] - [1.1.7] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01 sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt 2012 [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Sc. Nils Kägeler

**Gutachtliche Stellungnahme**  
**Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3**  
**- Sicherheitssystem und Handbücher-**

**TÜV NORD Bericht-Nr.:** 8115 022 604-2 D Rev. 0

**Prüfgegenstand:** Konzeptprüfung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher für die Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012) und DIN EN 61400-1

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
 Dreekamp 5  
 26605 Aurich

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	09.09.2019	Erstausgabe	Raupach

## Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen .....	3
1.1	Geprüfte Unterlagen .....	3
1.2	Zugehörige Unterlagen .....	5
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einführung .....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage.....	6
4.1	Turbinen Konfiguration .....	6
4.2	Temperaturvariante .....	7
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem .....	8
4.4	Mechanische Bremse .....	8
5	Durchgeführte Prüfung .....	9
5.1	Prüfmethodik .....	9
5.2	Anmerkungen .....	9
5.3	Prüfergebnisse .....	9
5.3.1	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem .....	9
5.3.2	Qualitätssicherung.....	10
5.3.3	Performance Level .....	10
5.3.4	Handbücher .....	10
5.4	Schnittstellen .....	11
6	Auflagen und Hinweise .....	11
7	Schlussfolgerung .....	12



## **1 Eingereichte Unterlagen**

### **1.1 Geprüfte Unterlagen**

- [1.1.1] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0612062-3  
Rev. 3, 15.03.2018
- [1.1.2] ENERCON GmbH  
Safety Concept / Sicherheitskonzept ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0584229-9  
Rev. 9, 21.12.2018
- [1.1.3] ENERCON GmbH  
Safety Plan / Sicherheitsplan ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0586363-5  
Rev. 5, 21.12.2018
- [1.1.4] ENERCON GmbH  
Risikobeurteilung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0551207-1Risikobeurteilung E-138 EP3.xlsx  
Rev. 1, ohne Datum
- [1.1.5] ENERCON GmbH  
System FMEA Sicherheitssystem E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0762718-2  
Rev. 2, Datum 14.12.2018
- [1.1.6] ENERCON GmbH  
Teilsystem FMEA Sicherheitssteuerung E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0615455-1  
Rev. 1, Datum 21.12.2017
- [1.1.7] ENERCON GmbH  
Safety Requirement Specification / Spezifikation der Anforderungen an die Funktionale Sicherheit  
Dokument Nr.: D0588136-14  
Rev. 14, Datum 25.08.2018
- [1.1.8] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung EP-SCS-02 Bestimmung der Performance Level  
Dokument Nr.: D0757007-0  
Rev. 0, Datum 17.05.2019

- [1.1.9] ENERCON GmbH  
Betriebsanleitung  
ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 / 3500 kW  
Dokument Nr.: D0727008-0  
Rev. 0, Datum 12.09.2018
- [1.1.10] ENERCON GmbH  
Spezifikation / System Requirement Specification E-138 EP3 Scoping  
Dokument Nr.: D0634801-1  
Rev. 1, Datum 09.02.2018
- [1.1.11] ENERCON GmbH  
Steuerungsplattform EP-CS-02 - Safety Requirement Specification -  
Dokument Nr.: D0496837-0  
Rev. 0, Datum 22.02.2017
- [1.1.12] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Fehlermodes  
Control System E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0742307-0  
Rev. 0, Datum 28.09.2018
- [1.1.13] ENERCON GmbH  
Prototypentestplan E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0717805-0  
Rev. 0, Datum 25.06.2018
- [1.1.14] ENERCON GmbH  
Wartungsanleitung Hauptwartung Windenergieanlage E-138 E3  
Dokument Nr.: D0768894-2  
Rev. 2, Datum 28.05.2019
- [1.1.15] ENERCON GmbH  
Betriebsanleitung ENERCON Windenergieanlage E-138 E3 / 3500 kW  
Dokument Nr.: D0727008-0  
Rev. 0, Datum 12.09.2018
- [1.1.16] ENERCON GmbH  
Inbetriebnahmeanleitung Windenergieanlage E-138 EP3 (EP3-CS-02)  
Dokument Nr.: D0761538-0  
Rev. 0, Datum 26.10.2018
- [1.1.17] ENERCON GmbH  
Aufbauanleitung Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul  
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-16-015  
Rev. 003, Datum 26.10.2018

- [1.1.18] ENERCON GmbH  
Montageanleitung Vormontage und Montage Gondel  
Windenergieanlage E-138 EP3  
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-18-073  
Rev. 003, eingereicht am 06.11.2018
- [1.1.19] ENERCON GmbH  
Arbeitsanleitung Verkabelung Gondel  
Windenergieanlage E-138 EP3  
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-18- Rev000 / DC  
Rev. 0, Datum 05.11.2018
- [1.1.20] ENERCON GmbH  
Verladehandbuch E-126/E-138 EP3  
Dokument Nr.: PLM-TES-DC032-VH\_E-126\_E-138\_EP3-Rev000de-de.  
Rev. 0, Datum 26.02.2019
- 1.2 Zugehörige Unterlagen**
- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0556048-5  
Rev. 5, Datum 26.03.2018
- [1.2.2] ENERCON GmbH  
EP-SCS-02 Übersichtsschaltplan / overview circuit diagram  
Dokument Nr.: D0735453-0  
Rev. 0, Datum 25.09.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH  
V&V Plan Windenergieanlage E-138 EP3 mit Safety-Steuerung EP-SCS-02  
Dokument Nr.: D0733203-1  
Rev. 1, Datum 14.11.2018
- [1.2.4] ENERCON GmbH  
Projekt: Enersafe (Safety Report Bachmann Steuerung)  
Enersafe\_Report\_2019\_08\_09.pdf  
Eingereicht am 13.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH  
SysAD E-138 EP3 (DRAFT)  
Dokument Nr.: D0679972-4  
Rev. 4, ohne Datum

- [1.2.6] ENERCON GmbH  
Überdrehzahlabschaltungen  
Dokument Nr.: D0714684-0  
Eingereicht am 15.06.2018
- [1.2.7] ENERCON GmbH  
Erkennung von nicht durchgeführter Azimutverstellung  
Dokument Nr.: D0801103-0 / DD  
Eingereicht am 06.03.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH, WRD GmbH  
Stellungnahme Aufbauanleitung Montage Stahlturm, Stahlsektion FBT und E-Modul  
Dokument Nr.: D0828100-0 / DZ  
Datum 22.05.2019

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Fassung Oktober 2012, Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] Internationale Richtlinie IEC 61400-1:  
"Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen", dritte Edition, August 2005

## **3 Einführung**

Die Prüfung umfasst die in [1.1] eingereichten Unterlagen und wurde auf Grundlage der in [2] genannten Richtlinien hinsichtlich des Konzepts des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher durchgeführt. Die Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft.

## **4 Beschreibung der Windenergieanlage**

### **4.1 Turbinen Konfiguration**

Die ENERCON E-138 EP3 ist eine dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlage mit einer Nennleistung von 3500 kW. Die Windenergieanlage funktioniert nach dem Prinzip variabler Leistung durch Einzelblattverstellung. Das Hauptbremssystem der ENERCON E-138 EP3 Windenergieanlage ist die aerodynamische Bremse durch die axiale Drehung der Rotorblätter, die in einem Bereich zwischen 0° und 92° bewegt werden können.

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

Typ	E-138 EP3
Windklasse	DIBt WZ S und WZ 2, GK II
Nennleistung	3500 kW
Frequenz	50/60 Hz
Rotorblatt (Durchmesser)	E-138 EP3-RB-01 (138,6m)
Turm (Nabenhöhe)	ST (81, 111, 131), HT (131, 160)
Nenndrehzahl Rotor	10,8 min <sup>-1</sup>
Drehzahlgrenze Betriebsführung	12,4 min <sup>-1</sup> (Nenndrehzahl +15%)
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem	13,5 min <sup>-1</sup> (Nenndrehzahl +25%)
Einschaltwindgeschwindigkeit	2,5 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	28 m/s (mit aktiver Sturmreglung bei 22 m/s)
Safety Controller / Hardware	EP-SCS-02 / Bachmann MX220/CF
Betriebsführungssystem	EP3-CS-02
Sicherheitssystem Version	V1.08 (checksum A: 0xA1F3812F B: 0xA66DBB79)
Design-Lebensdauer	25 Jahre
Pitchsystem	2 elektrische Gleichstrommotoren (DC) mit Batterien als Backup für jedes Rotorblatt

4.1: Anlagen Konfiguration

## 4.2 Temperaturvariante

Die Windenergieanlage E-138 EP3 wurde für den unbegrenzten Betrieb in mitteleuropäischem Klima entwickelt, d. H. für einen Temperaturbereich von -15°C bis mindestens +30°C. Bei höheren Umgebungstemperaturen und gleichzeitig starkem Wind kann das Betriebsführungssystem die Windenergieanlage, abhängig von den aktuellen Standortbedingungen, mit reduzierter Leistung betreiben.

Im Temperaturbereich von -15°C bis -25°C wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Zwischen -25°C und -40°C bleibt die Anlage mit maximal 25% der Nennleistung weiter in Betrieb. Wenn die Temperatur unter -40°C fällt, stoppt die Windenergieanlage. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von -35°C wieder möglich.

Für Standorte mit kaltem Klima reicht der unbegrenzte Betriebsbereich von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $+30^{\circ}\text{C}$ . Unterhalb dieser Temperatur wird die Leistung linear auf 25% reduziert, bis eine Temperatur von  $-40^{\circ}\text{C}$  erreicht ist. Ab dieser Temperatur wird der Betrieb gestoppt. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von  $-35^{\circ}\text{C}$  wieder möglich.

Bei Überschreitung der Beschleunigungsgrenzen, die durch einen vereisten Rotor mit Unwucht verursacht werden, wird die Windenergieanlage abgeschaltet. Darüber hinaus ist die E-138 EP3 mit einem Eiserkennungssystem ausgestattet.

### **4.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem**

Das Sicherheitssystem ist unabhängig vom Betriebsführungssystem und diesem logisch übergeordnet. Das Sicherheitssystem löst bei Überschreitung von kritischen Grenzwerten eine Notbremsung aus.

Die Überwachung durch das Sicherheitssystem umfasst die folgenden Funktionen:

- Not-Halt-Taster
- Rotordrehzahl
- Gondelschwingung
- Überwachung des Kontrollsystems
- Überwachung der Kabelverdrillung

Nach Auslösen des Sicherheitssystems ist ein automatischer Neustart der Anlage nicht möglich.

Der Ausfall von einer der drei Blattverstellungen führt nicht zu einem unsicheren Zustand, sondern löst sofort eine Abschaltung der Windenergieanlage aus (2oo3 Redundanz).

Die Azimutantriebe werden bei Betätigung des Not-Halt-Tasters in der Gondel oder einem Fehler im Azimutsystem ausgeschaltet. Im Wartungsmodus sind die Azimutantriebe ebenfalls deaktiviert.

Detaillierte Informationen sind in [1.1.2] und [1.2.2] enthalten.

### **4.4 Mechanische Bremse**

Die mechanische / hydraulische Scheibenbremse sorgt für einen vollständigen Stillstand des Rotors bei Betätigung des Nothalt-Tasters in der Gondel sowie im manuellen Servicebetrieb. Sie dient nicht als Betriebsbremse, sondern zum provisorischen Festhalten des bereits angehaltenen Rotors, um diesen zu arretieren. Zusätzlich wird die Rotorbremse nach dem Auslösen eines Notstopps als Zusatzbremse verwendet.

## **5 Durchgeführte Prüfung**

### **5.1 Prüfmethodik**

Die Bewertung erfolgte durch Überprüfung der zugehörigen Dokumentation in Bezug auf die Anforderungen in den angewandten Standards [2].

Das Design der unabhängigen Bremssysteme sowie die unabhängige und übergeordnete Funktion des Sicherheitssystems wurde überprüft.

Mit Hilfe der Fehleranalyse [1.1.5] wurde das Sicherheitssystem auf seine Fähigkeit, die Windenergieanlage bei Ausfall der Steuerung in einem sicheren Zustand zu halten überprüft. Mit [1.1.7] und [1.1.8] wurden die Performance Level der Schutzfunktionen gemäß den Anforderungen der EN ISO 13849-1 überprüft.

Die lastrelevanten Parameter, z.B. Drehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeiten oder Pitchgeschwindigkeiten, sowie die Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen aus der Lastrechnung überprüft.

Es wurde überprüft, ob die in [2.1] bzw. [2.2] geforderten Informationen in den jeweiligen Handbüchern enthalten sind.

Überprüfung aller angegebenen Parameter und Software-Validierung sowie eine vollständige Überprüfung aller Spezifikationen, z.B. Schraubenmomente, Schmierstoffe, Gewichte und Abmessungen, elektrische Eigenschaften etc. sind nicht Bestandteil dieses Prüfberichts.

### **5.2 Anmerkungen**

Wesentliche Änderungen am Kontroll- und Sicherheitssystem sowie in den Handbüchern machen diesen Prüfbericht ungültig, es sei denn, sie wurden dem TÜV NORD gemeldet und zur Bewertung vorgelegt.

### **5.3 Prüfergebnisse**

#### **5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem**

Das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems ist geeignet den sicheren Betrieb der ENERCON E-138 EP3 Windenergieanlage zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

### 5.3.2 Qualitätssicherung

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der ENERCON E-138 EP3 zu vermeiden. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) [1.1.5], [1.1.6]. Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler sind in [1.2.3] beschrieben.

### 5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

- Schutz vor Überdrehzahl / aerodynamische Bremse
- Not stop
- Kabelverdrillung
- Übermäßige Vibration/ Schock

wurde eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt. Die erforderlichen Performance Level für jede Schutzfunktion wurden in der Risikobewertung festgelegt. Der Nachweis aller Performance Level wurde auf der Basis von [1.1.7] und [1.1.8] erreicht. Die Schutzfunktionen erfüllen die Anforderungen der EN ISO 13849-1.

Nach einer Betriebszeit von 20 Jahren müssen die elektrischen Komponenten der Sicherheitsausrüstung für die verbleibende Lebensdauer der WEA (25 Jahre) aufgerüstet werden. Die Komponenten müssen entweder ausgetauscht oder einer Prüfung unterzogen werden (siehe EN ISO 13849-1: 2015). Für den Austausch der elektrischen Komponenten der Sicherheitseinrichtungen dürfen nur neue oder gleichwertige (so gut wie neue) Teile verwendet werden.

### 5.3.4 Handbücher

Für die Tätigkeiten Transport, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung stehen Handbücher, Checklisten und Aufzeichnungen zur Verfügung. Sicherheitsanweisungen wurden für vorhersehbare Gefahren gegeben. Die Handbücher enthalten die erforderlichen Informationen in geeigneter Weise, mit Ausnahme des folgenden Aspekts:

- Das Handbuch zur Turmmontage [1.1.17] enthält noch nicht die E-138 EP3 und nicht alle Nabenhöhen.

Mit Dokument [1.2.8] erklärt Enercon die Gültigkeit des Handbuchs auch für die Stahltürme E-138 EP3 81m und 111m.

Die entsprechenden Protokolle werden über das Technical Service Info-System (TSI-Datenbank) verwaltet, das die aktuellen Protokolle bereitstellt und die Einträge speichert.



## 5.4 Schnittstellen

Die lastrelevanten Parameter, z.B. Drehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeiten oder Pitchgeschwindigkeiten, sowie die Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen aus der Lastrechnung überprüft.

## 6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 Die Häufigkeit der Abschaltung des Steuerungssystems aufgrund von Überdrehzahl ( $n_4$ ) ist in den Jahresberichten anzugeben, um die für die Lastfalldefinition getroffenen Annahmen zu validieren.
- 6.2 Das Handbuch für die Turminstallation muss mit den entsprechenden Informationen für die Nabenhöhen von 131 m (ST / HT) und 160 m (HT) ergänzt und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung vorgelegt werden.
- 6.3 Jede Windenergieanlage dieses Typs muss mindestens entsprechend den Inbetriebnahmeanleitungen getestet werden. Der ordnungsgemäße Zustand ist vom Hersteller zu bestätigen. Der Inbetriebnahmebericht ist dem Betreiber jeweils zusammen mit den Handbüchern und Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen zu übergeben. Die Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen sind zu befolgen und die durchgeführten Arbeiten in den entsprechenden Berichten zu protokollieren.
- 6.4 Alle sicherheitsrelevanten Bauteile und Funktionen sind in Abständen von höchstens zwei Jahren durch einen anerkannten Sachverständigen zu prüfen. Dieses Prüfintervall kann auf vier Jahre verlängert werden, wenn durch von Enercon autorisierte Sachkundige eine laufende (mind. jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird. Das Ergebnis der wiederkehrenden Prüfung ist in einem Bericht festzuhalten, der mindestens die folgenden Informationen enthalten muss:
  - Prüfender Sachverständiger und Anwesende bei der Prüfung
  - Hersteller, Typ und Seriennummer der WEA und deren Hauptbestandteile (Rotorblätter, Getriebe, Generator, Turm)
  - Standort und Betreiber der WEA
  - Gesamtbetriebsstunden
  - Windgeschwindigkeit und Temperatur am Tag der Prüfung
  - Beschreibung des Prüfumfanges
  - Prüfergebnis und ggf. Auflagen

Diese Dokumentation ist vom Betreiber über die gesamte Nutzungsdauer der WEA aufzubewahren.

## 7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die ENERCON E-138 EP3 Windenergieanlage in einem sicheren Zustand zu halten.

Das fehlersichere Verhalten der Windenergieanlagen wurde in Form einer FMEA dargelegt. Die nach EN ISO 13849-1 erforderlichen Performance Level wurden für alle Sicherheitsfunktionen erreicht.

Die Anforderungen der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen (Ausgabe 2012) und der DIN EN 61400-1:2005 an das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie die Handbücher der in Tabelle 4.1 spezifizierten Windenergieanlage werden erfüllt.

Die Auflagen und Hinweise in Kap. 6 sind zu berücksichtigen.

erstellt

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "O. Raupach".

Dipl.-Ing. O. Raupach

freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "L. Klüppel".

Dipl.-Ing. L. Klüppel

## Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage E-138 EP3  
unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen

- Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 -

**TÜV NORD Bericht-Nr.:** 8115 022 604 - 3 D, Rev. 1

**Gegenstand der Prüfung:** Strukturnachweis und statischer Blatttest für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01. Mit Lasten nach DIBt (2012)

**Anlagenhersteller** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

**Dokumentation:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 17 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	09.09.2019	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Passow
1	13.09.2019	Redaktionelle Korrektur Kap. 4.2 und 4.3 (Entwurfslebensdauer)	Dipl.-Ing. M. Passow

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	9
2	Prüfgrundlagen .....	11
3	Einleitung .....	11
4	Beschreibung der Komponente .....	12
4.1	Klimatische Bedingungen.....	12
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	12
4.3	Designlasten .....	13
4.4	Materialien.....	13
5	Durchgeführte Prüfung.....	14
5.1	Prüfmethode.....	14
5.2	Anmerkungen.....	15
5.3	Ergebnisse .....	15
5.4	Schnittstellen .....	15
6	Auflagen.....	16
7	Schlussfolgerung .....	17

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] "Nachweis zur Zertifizierung, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 der Windenergieanlage E-138 EP3 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit"  
Dokument-Nr.: D0684216-1, Rev. 1, Datum: 18.02.2019
- [1.1.2] "Nachweis zur Zertifizierung, Blattspitze Windenergieanlage E-138 EP3 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit"  
Dokument-Nr.: D0649380-0, Rev. 0, Datum: 13.03.2018
- [1.1.3] "Anhang, Blattspitze Windenergieanlage E-138 EP3 Anbindung an das Rotorblatt"  
Dokument-Nr.: D0649381-0, Rev. 0, Datum: 13.03.2017
- [1.1.4] "Nachweis zur Zertifizierung, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Serration (Hinterkantenkamm), Windenergieanlage E-138 EP3 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit"  
Dokument-Nr.: D0684667-0, Rev. 0, Datum: 25.05.2018
- [1.1.5] "Nachweis zur Zertifizierung, Lastvergleich Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Trailing Edge Serrations"  
Dokument-Nr.: D0796918-0, Rev. 0, Datum: 21.02.2019
- [1.1.6] "Nachweis Rotorblatt, Anhang: Sicherheitsparameter & Berechnungsformeln"  
Dokument-Nr.: D0169858-1a, Rev. 1a, Datum: 20.12.2017

### Zeichnungen

- [1.1.7] "Rotor blade general dimension"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.110.10000-2, Rev. 2, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.8] "Pressure face rotor blade shell, outer laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10000-6, Rev. 6, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.9] "Suction face rotor blade shell, outer laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10001-6, Rev. 6, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.10] "PF and SF rotor blade shell, preform segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10002-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2019, 1 Seite
- [1.1.11] "Suction face rotor blade shell, inner laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10003-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.12] "Pressure face rotor blade shell, inner laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10004-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite

- [1.1.13] "Pressure face rotor blade shell, core material"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10005-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.14] "Suction face rotor blade shell, core material"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10006-2, Rev. 2, Datum: 07.09.2018, 1 Seite
- [1.1.15] "Pressure face rotor blade shell, spar boom"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10007-1, Rev. 1, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.16] "Suction face rotor blade shell, spar boom"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10008-2, Rev. 2, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.17] "Pressure face rotor blade shell, outer laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10009-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.18] "Suction face rotor blade shell, outer laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10010-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.19] "Pressure face rotor blade shell, inner laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10011-4, Rev. 4, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.20] "Suction face rotor blade shell, inner laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10012-3, Rev. 3, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.21] "Pressure face rotor blade shell, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10014-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.22] "Suction face rotor blade shell, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10015-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.23] "Suction face rotor blade shell, spar boom var. B"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10016-1, Rev. 1, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.24] "Pressure face rotor blade shell, spar boom var. B"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10017-1, Rev. 1, Datum: 12.12.2018, 1 Seite
- [1.1.25] "Pressure face rotor blade shell, preform Segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10018-0, Rev. 0, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.26] "Rotor blade bonding, leading edge cap"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10000-2, Rev. 2, Datum: 18.09.2018, 1 Seite
- [1.1.27] "Rotor blade bonding, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10001-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.28] "Rotor blade bonding, reinforcement laminate outside"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10002-2, Rev. 2, Datum: 08.02.2019, 1 Seite

- [1.1.29] "Rotor blade bonding, glue cap leading edge"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10003-3, Rev. 3, Datum: 12.12.2018, 1 Seite
- [1.1.30] "Rotor blade bonding, glue cap trailing edge"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10004-4, Rev. 4, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.31] "Rotor blade bonding, glue cap trailing edge 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10006-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.32] "Rotor blade bonding, connection GCTE 1+2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10007-0, Rev. 0, Datum: 07.08.2018, 1 Seite
- [1.1.33] "Rotor blade bonding, connection GC LE 1+2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10008-1, Rev. 1, Datum: 24.08.2018, 1 Seite
- [1.1.34] "Rotor blade web, hat web segment 4"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10000-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.35] "Rotor blade web, web segment 5"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10001-0, Rev. 0, Datum: 20.03.2018, 1 Seite
- [1.1.36] "Rotor blade web, assembly web"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10003-1 Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.37] "Rotor blade web, leading edge web segment 1"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10004-1, Rev. 1, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.38] "Rotor blade web, leading edge web segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10005-0, Rev. 0, Datum: 17.05.2018, 1 Seite
- [1.1.39] "Rotor blade web, leading edge web segment 3"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10006-2, Rev. 2, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.40] "Rotor blade web, trailing edge web segment 1"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10007-1, Rev. 1, Datum: 09.05.2018, 1 Seite
- [1.1.41] "Rotor blade web, trailing edge web segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10008-1, Rev. 1, Datum: 09.05.2018, 1 Seite
- [1.1.42] "Rotor blade web, trailing edge web segment 3"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10009-3, Rev. 3, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.43] "Rotor blade web, reinforcement laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10010-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.44] "Rotor blade web, web TE reinforcement insert bypass"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10011-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite

- [1.1.45] "Rotor blade web, web LE reinforcement insert bypass"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10012-0, Rev. 0, Datum: 18.05.2018, 1 Seite
- [1.1.46] "Rotor blade web, flatback web"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10013-0, Rev. 0, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.47] "Rotor blade lifting eye, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.220.10005-0, Rev. 0, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.48] "Blade tip, additional fixing"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10000-0, Rev. 0, Datum: 08.01.2018, 1 Seite
- [1.1.49] "Blade tip, cover"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10001-0, Rev. 0, Datum: 08.01.2018, 1 Seite
- [1.1.50] "Vortex generator, assembly suction face"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10002-0, Rev. 0, Datum: 04.01.2018, 1 Seite
- [1.1.51] "Trailing edge serration, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10003-0, Rev. 0, Datum: 05.04.2018, 1 Seite
- [1.1.52] "Trailing edge serration, reinforcement laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10014-1, Rev. 1, Datum: 05.06.2018, 1 Seite
- [1.1.53] "PF and SF rotor blade shell, winding part PS1-PF/SF E-126-5/E-138-1"  
Zeichnungs-Nr.: R01.130.10001-0, Rev. 0, Datum: 12.09.2018, 1 Seite
- [1.1.54] "PF and SF rotor blade shell, winding part PS3-PF/SF E-126-5/E-138-1"  
Zeichnungs-Nr.: R01.130.10002-0, Rev. 0, Datum: 12.09.2018, 1 Seite
- [1.1.55] "Rotor blade bonding, winding part PS1-GC-TE/LE E-126-5/E-138-1"  
Zeichnungs-Nr.: R01.140.10000-0, Rev. 0, Datum: 12.09.2018, 1 Seite
- [1.1.56] "Rotor blade bonding, winding part PS3-GC-TE/LE E-126-5/E-138-1"  
Zeichnungs-Nr.: R01.140.10001-0, Rev. 0, Datum: 12.09.2018, 1 Seite
- [1.1.57] "Vortex generator, variant A R02.01"  
Zeichnungs-Nr.: R92.230.027-1, Rev. 1, Datum: 08.07.2016, 1 Seite
- [1.1.58] "PF and SF rotor blade shell, preform segment 1"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.130.10002-3, Rev. 3, Datum: 2018-12-06, 1 Seite
- [1.1.59] "PF and SF rotor blade shell, preform segment 3"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.130.10003-3, Rev. 3, Datum: 06.12.2018, 1 Seite
- [1.1.60] "Rotor blade bonding, preform segment 1 glue cap TE and LE"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.140.10000-2, Rev. 2, Datum: 06.12.2018, 1 Seite



- [1.1.61] "Rotor blade bonding, preform segment 3 glue cap TE and LE"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.140.10001-2, Rev. 2, Datum: 06.12.2018, 1 Seite
- [1.1.62] "Belegungsplan, Serrations E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0635175-0, Rev. 0, Datum: 15.03.2018
- [1.1.63] "Fertigungsdokumentation, Wickelplan für das Preform-Segment 1 des E-126  
EP3-RB-05 im Nasswickel-Verfahren mit 620g/m<sup>2</sup>-Gelege (318mm) auf dem  
Einzel-Wickelkern"  
Dokument-Nr.: D0673322-0, Rev. 0, Datum: 12.02.2018
- [1.1.64] "Fertigungsdokumentation, Wickelplan für das Preform-Segment 3 des E-126  
EP3-RB-05 im Nasswickel-Verfahren mit 620g/m<sup>2</sup>-Gelege (318mm) auf dem  
Einzel-Wickelkern"  
Dokument-Nr.: D0673323-0, Rev. 0, Datum: 09.02.2018
- [1.1.65] "Fertigungsdokumentation, Wickelplan für das Preform-Segment 2 des E-126  
EP3-RB-05 im Trockenwickel-Verfahren mit 620g/m<sup>2</sup>-Gelege (318mm) auf dem  
Einzel-Wickelkern"  
Dokument-Nr.: D0674436-0, Rev. 0, Datum: 18.02.2018

#### Materialtests und -spezifikationen

- [1.1.66] "Spezifikation, Materialkennwerte für die Rotorblattauslegung"  
Dokument-Nr.: D0616527-2, Rev. 2, Datum: 12.03.2018

#### Spezifikationen

- [1.1.67] "Spezifikation, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0684414-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2019
- [1.1.68] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante  
Mindestwerte für das Rotorblatt E138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0650829-3, Rev. 3, Datum: 22.02.2019
- [1.1.69] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante  
Mindestwerte für Rotorblätter allgemein"  
Dokument-Nr.: D0223764-2, Rev. 2, Datum: 11.01.2019
- [1.1.70] "Spezifikation, über aerodynamisch bedingte Fertigungstoleranzen für das  
Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0702174-0, Rev. 0, Datum: 30.07.2018
- [1.1.71] "Spezifikation, Allgemeine aerodynamisch und aero-akustisch bedingte  
Fertigungstoleranzen für Rotorblätter"  
Dokument-Nr.: D0701822-0a, Rev. 0a, Datum: 22.02.2019

## Handbücher

- [1.1.72] "Dokument, Verladehandbuch E-126/138 EP3"  
Dokument-Nr.: PLM-TES-DC032-VH\_E-126\_E-138\_EP3-Rev000de-de,  
Rev. 0, Datum: 26.02.2019

## Blattwurzel

- [1.1.73] "Nachweis zur Zertifizierung, Verbindung Blattanschluss E-138 EP3-RB-01 zum  
Blattadapter Windenergieanlage E-138 EP3, Statischer Nachweis und  
Betriebsfestigkeit für Lasten nach: DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0684666-0, Rev. 0, Datum: 19.04.2018
- [1.1.74] "Certification Report, Rotorblade Connection E-138 EP3-RB-01 to the blade  
adapter of the E-138 EP3 turbine Static and Fatigue Loads Verification"  
Dokument-Nr.: D0684666-1, Rev. 1, Datum: 22.02.2019
- [1.1.75] "Blattanschluss Blattflansch bearbeitet, blade connection blade flange  
machined"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.180.10000-1, Rev. 1, Datum: 17.01.2018
- [1.1.76] "Blattanschluss Zusammenbau, blade connection assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.180.10002-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2018
- [1.1.77] "Dehnhülse Ø42,4 / Ø25x160, expansion sleeve Ø42,4 / Ø25x160"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10011-1, Rev. 1, Datum: 26.01.2018
- [1.1.78] "Dehnhülse Ø42,4 / Ø25x180, expansion sleeve Ø42,4 / Ø25x180"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10013-1, Rev. 1, Datum: 26.01.2018
- [1.1.79] "Gewindebolzen DIN976 B M24x459 10.9 tZn, threaded bolt DIN976 B  
M24x459 10.9 HDG"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.180.10001-0, Rev. 0, Datum: 12.09.2017
- [1.1.80] "Gewindebolzen DIN976 B M24x439 10.9 tZn, threaded bolt DIN976 B  
M24x439 10.9 HDG"  
Zeichnungs-Nr.: R115.180.030-6, Rev. 6, Datum: 26.01.2018
- [1.1.81] "Blattanschluss Querbolzen Ø63x190 M24, blade connection cross bolt  
Ø63x190 M24"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10001-3, Rev. 3, Datum: 25.10.2018
- [1.1.82] "Blattanschluss Querbolzen Ø63x226 M24, blade connection cross bolt  
Ø63x226 M24"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10002-3, Rev. 3, Datum: 25.10.2018

## 1.2 Dazugehörige Dokumente

### Auslegungslasten

- [1.2.1] "Lastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Lasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0722969-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [1.2.2] "Betriebslastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Betriebslasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0722967-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [1.2.3] "Extremlastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 Abdeckende Extremlasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0722968-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [1.2.4] "Lastenbericht, Maschinenbau E-138 EP3, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0722965-2a, Rev. 2a, Datum: 19.02.2019
- [1.2.5] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 920 151 - 1 D IV, Rev. 3, Datum: 12.03.2019

### Design Basis

- [1.2.6] Design Basis, "Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3"  
Dokument-Nr.: D0556048-5, Rev. 5, Datum: 26.03.2018
- [1.2.7] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:  
"Evaluation Report Wind Turbines ENERCON E-126 EP3, E-138 EP3, IEC 61400-22 - Design Basis - "  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115022604-0 E, Rev. 0, Datum: 28.03.2018

### Statischer Rotorblatttest

- [1.2.8] "Spezifikation, Extremlast- und Betriebsfestigkeitstests Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0724387-3, Rev. 3, Datum: 19.03.2019

[1.2.9] "Auswertung Statischer Rotorblatttest E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0783831-0a, Rev. 0a, Datum: 11.02.2019

[1.2.10] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Provisional Evaluation Report, Full-scale rotor blade tests - Rotor Blade E-138  
EP3-RB-01 -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604 - 3t E, Rev. 1, Datum: 06.09.2019

### Zeichnungen

[1.2.11] "Reinforcing ring, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.200.10003-4, Rev. 4, Datum: 14.02.2019, 1 Seite

[1.2.12] "Rotor blade lifting eye, reinforcement laminate te"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.220.10004-0, Rev. 0, Datum: 19.03.2018, 1 Seite

[1.2.13] "Blade heating system, heating modul 50Hz"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.210.10002-1, Rev. 1, Datum: 25.04.2019, 1 Seite

[1.2.14] "Blade heating system, overview installation"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.210.10003-1, Rev. 1, Datum: 25.04.2019, 1 Seite

[1.2.15] "Blade skirt, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10021-0, Rev. 0, Datum: 08.03.2018, 1 Seite

[1.2.16] "Balancing chamber, installation"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10023-0, Rev. 0, Datum: 08.03.2018, 1 Seite

[1.2.17] "Liste zertifizierter Bauunterlagen, für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0685276-0, Rev. 0, Datum: 22.02.2019

### Handbücher

[1.2.18] "Wartungsanleitung Hauptwartung Windenergieanlage E-138 E3"  
Dokument-Nr.: D0768894-0a, Rev. 0, gesendet 21.11.2018

[1.2.19] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report, Wind Turbine ENERCON E-138 EP3, Wind Class IEC IIIA  
- Safety System and Manuals -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115022604-2 E, Rev. 1, Datum: 28.05.2019

## 2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:  
"Richtlinie für Windkraftanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise  
für Turm und Gründung",  
Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015

### Anerkannte Regelwerke

- [2.2] International Standard IEC 61400-22:  
"Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification"  
Edition 1.0, 2010-050
- [2.3] International Standard IEC 61400-1:  
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"  
3rd edition, 2005-08
- [2.4] International Standard IEC 61400-1:  
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"  
3rd edition, Amendment 1, 2010-10
- [2.5] International Standard IEC 61400-23:  
"Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades"  
Edition 1.0, 2014-04
- [2.6] Germanischer Lloyd:  
"Rules and Guidelines, IV - Industrial Services, Part 1 -Guideline for the  
Certification of Wind Turbines"  
Edition 2010

## 3 Einleitung

Dieses Dokument beschreibt die Prozedur und die Ergebnisse der Nachweisführung des Rotorblattes E-138 EP3-RB-01 für die Windenergieanlage E-138 EP3 nach DIBt 2012 Standard mit Anlehnung an IEC 61400-22 in Kombination mit IEC 61400-1 (ed.3, 2005 und Amendment 2010).

Die vorliegende Revision der Gutachtlichen Stellungnahme entstand auf Grund der Korrektur eines redaktionellen Fehlers in der Angabe zur Entwurfslebensdauer/ Auslegungszeit.

## 4 Beschreibung der Komponente

### 4.1 Klimatische Bedingungen

Das Rotorblatt ist für die klimatischen Bedingungen nach [2.1] ausgelegt und geprüft worden.

### 4.2 Beschreibung der Komponentenparameter

Das Rotorblatt besteht aus Glasfaser verstärkten Epoxy Kunststoff, der als Sandwich Konstruktion realisiert wird. Der Holmgurt besteht aus glasfaserverstärktem Epoxidmaterial, für den zwei verschiedene Materialvarianten verwendet werden, HMR-1188 und HMR-2340. Für das Kernmaterial wird Balsaholz und PET-Schaum verwendet. Zusätzlich verfügt das Rotorblatt über zwei Hauptsstege, die zusammen mit den UD Glasfaser-Gurten der oberen und unteren Schale einen Kastenträger ergeben. Das Rotorblatt wird mit Hilfe des Vakuum-Infusionsverfahren produziert.

Die Verbindung vom Rotorblattfuß zum Rotorblattflansch erfolgt über 89 T-Bolzen. Jeder T-Bolzen ist mit zwei M24-Gewindebolzen vorgespannt.

Nach [1.1.1] und [1.1.68] hat das Rotorblatt die folgenden Eigenschaften:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung (HMR-1188):	0,528 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung (HMR-1188):	0,803 Hz
1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung (HMR-2340):	0,518 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung (HMR-2340):	0,793 Hz
Blattmasse: (inkl. Bolzen, ohne Heizung)	19033 kg ±3%
(inkl. Bolzen, mit Heizung)	19459 kg ±3%
Schwerpunkt (Nabenmitte, ohne Heizung):	21,80 m
(Nabenmitte, mit Heizung):	21,43 m
Statisches Moment (Nabenmitte, ohne Heizung):	414 919 kgm
(Nabenmitte, mit Heizung):	417 006 kgm
Entwurfslebensdauer:	25 Jahre

Das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 ist für den Betrieb an verschiedenen Konfigurationen vorgesehen:

Nr.	WEA	Frequenz	Max. Nennleistung	Nabelhöhe	Windklasse	Geländeklasse	geprüft mit
1	E-138 EP3-ST-81-FB-C-01	50Hz	3.5 MW	80 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	Strukturberechnung [1.1.1] - [1.1.6]
2	E-138 EP3-ST-111-FB-C-01	50Hz	3.5 MW	111 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
3	E-138 EP3-ST-131-FB-C-01	50Hz	3.5 MW	131 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	

4	E-138 EP3-HT-131-ES-C-01	50Hz	3.5 MW	131 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
5	E-138 EP3-HT-131-ES-C-02	50Hz	3.5 MW	131 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
6	E-138 EP3-HT-160-ES-C-01	50Hz	3.5 MW	160 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	

Table 4.1: Abgedeckte Konfigurationen

### 4.3 Designlasten

Das Rotorblatt wurde ursprünglich mit Designlasten [1.2.1] - [1.2.4] bemessen. Dieses Dokument beinhaltet lasteinhüllende Extrem- und Ermüdungslasten. Markov Matrizen wurden separat eingereicht.

Die Lastannahmen sind in nach der folgenden Tabelle spezifiziert:

Nr.	WEA	Spezifiziert in	Geprüft in
1	E-138 EP3-ST-81-FB-C-01	[1.2.1] - [1.2.4]	[1.2.5]
2	E-138 EP3-ST-111-FB-C-01		
3	E-138 EP3-ST-131-FB-C-01		
4	E-138 EP3-HT-131-ES-C-01		
5	E-138 EP3-HT-131-ES-C-02		
6	E-138 EP3-HT-160-ES-C-01		

Table 4.2: Lastannahmen

In den Lastannahmen wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

- 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0,527 Hz
- 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung 0,813 Hz
- Blattmasse: 21360 kg (inkl. Blattadapter)
- Schwerpunkt (Blattwurzel): 17.36 m (inkl. Blattadapter)
- Statisches Moment (Blattwurzel) 375517 kgm (inkl. Blattadapter)

Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 25 Jahren. Sonderereignisse verursacht durch den Transport und Errichtung sind nicht berücksichtigt worden.

### 4.4 Materialien

Das Rotorblatt wurde mit Materialannahmen für das Laminat, den Kernwerkstoff und den Kleber nach [1.1.66] nachgewiesen. Die metallischen Komponenten der Blattfußverbindung sind in [1.1.73] definiert.

## **5 Durchgeführte Prüfung**

### **5.1 Prüfmethode**

Die Design Basis [1.2.6] wurde in [1.2.7] nach IEC61400-22 [2.2] geprüft.

Der Nachweis beinhaltet die strukturelle Bewertung des Rotorblattes und des Rotorblattanschlusses (inkl. Verschraubung zum Blattlager). Darüber hinaus wurden die Eigenfrequenzen, die Masse und der Schwerpunkt des Blattes abgeprüft. Die Dokumente [1.1.1] bis [1.1.82] wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität auf Basis der Anforderungen gemäß [2.1] und [2.2] geprüft.

Die Rotorblattschale inklusive Verschraubung zum Blattlager wurden ursprünglich mit Auslegungslasten nach [1.2.1] - [1.2.4] nachgewiesen.

Für die Bewertung des Rotorblattes wurde ein eigenständiges Finite-Elemente-Modell aufbauend auf den Zeichnungen und Materialdaten gemäß [1.1.7] - [1.1.66] erstellt, mit dessen Hilfe die Festigkeit des Rotorblattes nachgewiesen wurde.

Für den Nachweis des Blattanschlusses wurde ein separates Finite-Elemente-Modell erzeugt, welches komplett aus Volumenelementen besteht. Die Nachweise wurden für die maßgebenden Lastfälle geführt.

Der Nachweis der Materialien wurde in [1.1.66] durchgeführt. Dabei wurden die Eigenschaften aus der Auslegung mit ermittelten Materialeigenschaften gegeneinander verglichen.

Die Evaluierung umfasst die Strukturanalyse des Hinterkantenkamms [1.1.4] und [1.1.5], der Vortex-Generatoren (Verklebung in [1.1.1]) sowie der Blattspitze [1.1.2] und [1.1.3].

Um die Ergebnisse der Festigkeitsrechnung abzugleichen wurde unter Aufsicht des TÜV NORD ein statischer Blatttest nach [1.2.8] durchgeführt.

Der Turmfreigang ist nicht Teil dieser Prüfung, ist aber im Bericht zu den Lastannahmen geprüft worden. Das Blitzschutzsystem ist nicht Teil dieser Prüfung.

Der Nachweis des Rotorflanschadapters, welcher in [1.1.74] enthalten ist, ist nicht Teil dieser Prüfung.

Der Nachweis der Anbindung des Heizungssystems wurde auf Plausibilität geprüft.

Das in [1.1.72] referenzierte Handbuch wurde auf Vollständigkeit und Plausibilität auf Basis der Anforderungen gemäß [2.2] geprüft. Weitere Handbücher, wie z.B. [1.2.18], wurden gemäß [1.2.19] geprüft.



## **5.2 Anmerkungen**

Die Vorspannung der Schraubverbindung zum Blattlager wurde mit einer minimalen Vorspannung von 162,6 kN und einer maximalen Vorspannung von 243,9 kN für den Nachweis verwendet.

Entsprechend der Gutachtlichen Stellungnahme zu den Lasten [1.2.5] sind die aerodynamischen Anbauteile Hinterkantenkamm, Vortexgenerator und Blattspitze abdeckend berücksichtigt worden.

Abweichend zu den in den Entwurfsunterlagen zitierten Lastdokumenten [1.2.1] - [1.2.3], sind in der Gutachtlichen Stellungnahme Lasten [1.2.5] neuere Revisionen der Lastdokumente zitiert. Da es sich lediglich um formelle Änderungen zwischen den Versionen handelt, sind die neueren Revisionen ebenfalls abgedeckt.

## **5.3 Ergebnisse**

Die geprüften Strukturnachweise sind vollständig und in Hinblick auf die Tragfähigkeit des Rotorblattes (inkl. Schraubverbindung zum Blattlager) korrekt. Der Abgleich der Eigenfrequenzen, Rotorblattmasse und Massenschwerpunkt zeugt gute Ergebnisse.

Der statische Blatttest nach [1.2.8] wurde in [1.2.10] nach IEC 61400-23 [2.5] evaluiert und erfüllt somit auch die Anforderungen nach GL 2010 [2.6].

Alle Nachweise und Ergebnisse entsprechen den Anforderungen nach [2.1], die Restsicherheiten wurden nicht evaluiert.

Die für die Konstruktionsnachweise verwendeten Materialeigenschaften gem. [1.1.66] stimmen mit den Werten der in [1.1.66] angegebenen Materialprüfungen überein. Somit sind die Konstruktionsmaterialeigenschaften durch Tests bestätigt.

## **5.4 Schnittstellen**

Die folgenden Schnittstellen sollen betrachtet werden:

Für den Maschinenbau und die Betriebshandbücher:

[5.4.1] Eine Vorspannung von Minimum 162,6 kN und Maximum 243,9 kN für die Schraubverbindung zum Blattlager muss beachtet werden.

## **6 Auflagen**

- 6.1 Die ersten Eigenfrequenzen des nicht-rotierenden Blattes in Schwenk- und Schlagrichtung dürfen nicht mehr als 5% von den in Abschnitt 4.3 angegebenen Werten abweichen.
- 6.2 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach [2.6] erfüllt.
- 6.3 Um die Kriechverformung des GFK-Anteils in der vorgespannten Verbindung an der Blattwurzel zu berücksichtigen, muss die Vorspannung der Bolzenverbindung nach 4 Wochen bzw. 200 Betriebsstunden (der kürzere der beiden Zeiträume ist maßgebend) überprüft werden.
- 6.4 Nach höchstens zwei Jahren müssen die Rotorblätter durch einen unabhängigen Sachverständigen für Rotorblätter überprüft werden. Dies kann auf höchstens vier Jahre verlängert werden, wenn durch einen vom Hersteller autorisierten Sachkundigen eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung durchgeführt wird. Falls erforderlich müssen vorhandene Risse oder andere Beschädigungen in der Laminatstruktur bewertet und Reparaturmaßnahmen definiert werden.
- 6.5 Für die laufenden Überwachungen und Wartungen durch den Sachkundigen des Herstellers sind die Prüfungen und deren Umfang im Wartungsprotokoll zu dokumentieren. Es sind mindestens die Blattoberfläche, der Bereich der Flanschverbindung zum Blattlager und die Vorspannung der Bolzen zu überprüfen. Schäden, welche die Integrität der Struktur der Rotorblätter betreffen, müssen der TÜV NORD CERT GmbH gemeldet werden.

## 7 Schlussfolgerung

Vorausgesetzt die zuvor genannten Prüfbemerkungen und Auflagen werden berücksichtigt, erfüllen die unter Abschnitt 1.1 aufgeführten Unterlagen die Prüfgrundlagen gemäß Kapitel 2.

Es bestehen keine Bedenken das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 an der Windenergieanlage E-138 EP3 mit den in Kapitel 4.3 aufgeführten Konfigurationen zu betreiben.

Strukturelle Änderungen am Rotorblatt müssen von der Zertifizierungsstelle geprüft und genehmigt werden. Andernfalls verliert dieser Prüfbericht seine Gültigkeit.

Sachverständige(r):

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. Passow".

Dipl.-Ing. M. Passow

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "J. C. Román".

Dipl.-Ing./M.Sc. J. C. Román

## Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3

- Maschinenbauliche Komponenten -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8116 092 817-4 D Rev. 0

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: E-138 EP3  
Varianten: siehe Tab. 4.2  
Anlagenparameter: siehe Tab. 4.2

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

**Prüfumfang:** Auslegungsanforderungen für maschinenbauliche  
Komponenten gem. DIN EN 61400-1:2011  
inkl. deren Verwendung in Windenergieanlagen

**Auslegungslasten:** Geprüfte Lastannahmen

Dieser Prüfbericht umfasst 24 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	16.05.2019	Erstausgabe	C. Burges

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	4
1.1	Geprüfte Dokumente .....	4
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	9
1.3	Lastannahmen .....	11
1.4	Zugehörige Prüfberichte .....	11
1.5	Hauptzeichnungen .....	11
2	Prüfgrundlagen .....	12
3	Einleitung .....	12
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	12
4.1	Anlagenkonzept .....	12
4.2	Umgebungsbedingungen .....	12
4.3	Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen .....	13
4.3.1	Blattadapter .....	13
4.3.2	Blattlager .....	13
4.3.3	Blattverstellgetriebe .....	14
4.3.4	Rotornabe .....	15
4.3.5	Hauptlagerung .....	15
4.3.6	Rotorträger .....	16
4.3.7	Achszapfen .....	16
4.3.8	Achsdeckel .....	17
4.3.9	Rotorarretierung .....	17
4.3.10	Rotorbremse .....	17
4.3.11	Maschinenträger .....	17
4.3.12	Generatorstator .....	18
4.3.13	Generatorrotor .....	18
4.3.14	Azimetgetriebe .....	18
4.3.15	Azimetlager .....	19
4.3.16	Hydrauliksystem .....	20
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen .....	20
5	Durchgeführte Prüfungen .....	21
5.1	Prüfmethoden .....	21
5.2	Mechanische Komponenten und Antriebe .....	21
5.3	Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen .....	21

5.4	Hinweise und Annahmen .....	22
5.5	Prüfergebnis .....	22
5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm .....	23
6	Ausstehende Nachweise .....	23
7	Bedingungen.....	23
8	Schlussfolgerungen .....	24

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Blattadapter

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Blattadapter  
Dokument Nr.: D0714009-0  
Rev. 0, vom 26.06.2018

#### Blattlager

- [1.1.2] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Prüfunterlagen Blatt Drehverbindung Windenergieanlage  
Dokument Nr.: p02800-055WJ18-001\_Enercon\_PiB\_E138EP3\_D0738927-2  
Rev. 2, vom 27.02.2019
- [1.1.3] IMO GmbH & Co. KG:  
Slewing ring calculation report  
Dokument Nr.: ber\_01\_02-552800-4-12619\_Enercon\_E138 EP3 KDR\_Blatt\_cdr  
Rev. 001, vom 19.12.2018
- [1.1.4] Thyssenkrupp Rothe Erde:  
Technisches Datenblatt Rothe Erde Großwälzlager  
Dokument Nr.: 18130\_02  
Rev. 2, vom 26.02.2019

#### Blattverstellgetriebe

- [1.1.5] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Calculation Pitch gearbox  
Dokument Nr.: 2019-008-2  
Rev. 2, vom 26.02.2019
- [1.1.6] Bonfiglioli Transmital:  
Technical Report  
Dokument Nr.: I18397D\_rev2  
Rev. 2, vom 27.02.2019
- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
Nachweis Blattverstellmotor und -bremse E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0738902-3  
Rev. 3, vom 22.02.2019

### Rotornabe

- [1.1.8] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Rotornabe  
Dokument Nr.: D0708561-0c  
Rev. 0c, vom 14.12.2018

### Hauptlagerung

- [1.1.9] PSL, a. s. (ThyssenKrupp):  
Technical Report - Enercon E-138 EP3 KDR, Mainshaft Bearing  
Dokument Nr.: 18/17  
Rev. 02, vom 26.02.2019
- [1.1.10] SKF GmbH:  
Rechnerischer Nachweis zur Zertifizierung Nabenlagerung - Windenergieanlage  
Enercon E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: Enercon / E-138 EP3 KDR / 3MW-Plattform  
Rev. R03, vom 25.02.2019
- [1.1.11] Schaeffler Technologies AG & Co. KG:  
Technische Dokumentation - Hauptlagerung - Windenergieanlage E138 EP3  
Dokument Nr.: TD\_Enercon\_E138 EP3 KDR\_2019-02-28\_AB  
Rev. AB, vom 28.02.2019

### Rotorträger

- [1.1.12] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Rotorträger  
Dokument Nr.: D0708068-0  
Rev. 0, vom 11.06.2018

### Achszapfen

- [1.1.13] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Achszapfen  
Dokument Nr.: D0697020-0  
Rev. 0, vom 30.05.2018

### Achsdeckel

- [1.1.14] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Achsdeckel und Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen  
Dokument Nr.: D0703653-0  
Rev. 0a, vom 11.12.2018



### Rotorarretierung

[1.1.15] ENERCON GmbH:

Nachweis Rotorarretierung E-126 EP3 und E-138 EP3 E1  
Dokument Nr.: D0705527  
Rev. 2, vom 01.02.2019

### Rotorbremse

[1.1.16] ENERCON GmbH:

Nachweis Rotorbremse E-126 EP3 und E-138 EP3 E1  
Dokument Nr.: D0669913-2  
Rev. 2, vom 01.02.2019

### Maschinenträger

[1.1.17] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Maschinenträger  
Dokument Nr.: D0720304-0,  
Rev. 0, vom 02.07.2018

### Generatorstator

[1.1.18] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Stator  
Dokument Nr.: D0709378-1  
Rev. 1, vom 27.02.2019

### Generatorrotor

[1.1.19] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Generatorrotor  
Dokument Nr.: D0714590-1  
Rev. 1, vom 05.03.2019

### Azimutgetriebe

[1.1.20] Liebherr Components Biberach GmbH:

Calculation Yaw gearbox Enercon  
Dokument Nr.: 2019-014-2  
Rev. 2, vom 26.03.2019

[1.1.21] Schaeffler Technologies AG & Co. KG:

Calculation - Bearings output shaft  
Dokument Nr.: 2018-02-26\_Lagerberechnung\_Enercon\_E-126\_AC12588010  
Rev. -, vom 13.11.2018

- [1.1.22] Bonfiglioli Trasmital:  
Technical Report  
Dokument Nr.: I19066D\_rev1  
Rev. 1, vom 04.03.2019

#### Azimutlager

- [1.1.23] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Prüfunterlagen Azimutlager Windenergieanlage Enercon E-138 EP3 -KDR LB  
D0722965  
Dokument Nr.: p03203-070WA18-  
001\_20190204\_ENERCON\_YaB\_EP138EP3\_D0735815-2  
Rev. -, vom 06.03.2019

- [1.1.24] thyssenkrupp Rothe Erde GmbH:  
Technisches Datenblatt - Rothe Erde Großwälzlager  
Dokument Nr.: 18166\_02  
Rev. 02, vom 26.02.2019

#### Azimutarretierung

- [1.1.25] ENERCON GmbH:  
Nachweis - Azimutmotor und -bremse E-138 EP3 LB D0722965  
Dokument Nr.: D0735277-2  
Rev. 2, vom 13.02.2019

#### Anschlagpunkte

- [1.1.26] ENERCON GmbH:  
Statischer Nachweis Anschlagpunkte Vorserie E-126 EP4 und E-141 EP4  
Dokument Nr.: D0546190-0  
Rev. 2.0, vom 21.02.2017

- [1.1.27] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung - Anschlagpunkte für Personensicherheit am  
Scheibenrotor der Windenergieanlage E-126 EP3 - Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0695459-0  
Rev. 0, vom 16.04.2018

#### Schraubverbindungen

- [1.1.28] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Schraubverbindungen des Blattflanschlagers  
Dokument Nr.: D0718123-0  
Rev. 0, vom 26.06.2018

[1.1.29] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Schraubverbindung Rotornabe - Rotorträger  
Dokument Nr.: D0709396-0  
Rev. 0, vom 05.06.2018

[1.1.30] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Schraubverbindung Maschinenträger – Statortragstern  
Dokument Nr.: D0713577-0  
Rev. 0, vom 13.06.2018

[1.1.31] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Schraubverbindungen des Azimutlagers, Turmkopfflansch  
Dokument Nr.: D0713132-0  
Rev. 0, vom 30.05.2018

[1.1.32] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Schraubverbindung Achszapfen – Statortragstern  
Dokument Nr.: D0706727-0  
Rev. 0, vom 30.05.2018

[1.1.33] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Achsdeckel und Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen  
Dokument Nr.: D0703653-0a  
Rev. 0a, vom 11.12.2018

[1.1.34] ENERCON GmbH:

Dokument zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3 und E-  
138 EP3 Schraubverbindung Maschinenträger - Statortragstern  
Dokument Nr.: D0791261-0  
Rev. 0, vom 05.02.2019

Lastvergleich

[1.1.35] ENERCON GmbH:

Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0786253-0  
Rev. 0, vom 29.01.2019

## 1.2 Dazugehörige Dokumente

### Blattlager

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Lastaufbereitung Blattverstellsystem E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0738900-2  
Rev. 2, vom 22.02.2019
- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Blattflanschlager E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0738927-2  
Rev. 2, vom 22.02.2019
- [1.2.3] IMO GmbH & Co. KG:  
Temperatureignung IMO Blattflanschlager 02-55 2800/4-12619,  
Enercon E-126 / E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0689278-0a  
Rev. 0a, vom 23.03.2018
- [1.2.4] Liebherr-Components Biberach GmbH:  
Nachweis Core Crushing "Bericht FEA"  
Dokument Nr.: 190316\_KUD02800-055WJ18V01\_rev1\_Enercon\_E-  
138\_EP3\_PiB  
Rev.1 , vom 16.03.2019

### Blattverstellgetriebe

- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Blattverstellgetriebe E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0617107  
Rev. 2, vom 27.11.2018
- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Blattverstellmotor EP3/3  
Dokument Nr.: D0645627-3  
Rev. 3, vom 09.08.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Blattverstellgetriebetausch E-126 EP3 bzw. E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0791356-0a  
Rev. 0a, vom 04.02.2019

### Hauptlagerung

- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Hauptlagerung E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0741617-2  
Rev. 2, vom 22.02.2019

- [1.2.9] SCHAEFFLER Technologies AG & Co. KG  
„Cold Climate“ – Zertifikat  
Dokument Nr.: D0691162-1  
Rev. 1, vom 01.10.2018

#### Rotorbremse

- [1.2.10] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Bremszange - WD4515-BD70-HY  
Dokument Nr.: D0640707-1  
Rev. 1, vom 18.09.2018

#### Azimutgetriebe

- [1.2.11] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Azimutgetriebe E-138 EP3 - KDR LB D0722965  
Dokument Nr.: D0735835-2  
Rev. 2, vom 22.02.2019

#### Azimutlager

- [1.2.12] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Azimutlager E138 EP3 -KDR LB D0722965  
Dokument Nr.: D0735815-2  
Rev. 2, vom 22.02.2019

#### Hydrauliksystem

- [1.2.13] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Hydraulikaggregat E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0748849-1  
Rev. 1, vom 10.01.2019
- [1.2.14] HOERBIGER Automatisierungstechnik GmbH:  
Hydraulikaggregat HB14122-002A Original-Montageanleitung HEX6319B-de  
Dokument Nr.: HB14122-002A  
Rev. 1.1, vom 01.2019

#### Konstruktionsbasis

- [1.2.15] ENERCON GmbH:  
Design Basis E-126, E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0556048-5  
Rev. 5, vom 26.03.2018

- [1.2.16] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
“Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen”  
Dokument Nr.: D0666243-3  
Rev. 3, vom 30.07.2018

#### Spezifikation Sphärogussteile

- [1.2.17] ENERCON GmbH:  
Spezifikation, MK 02 004 - Qualitätssicherung, Sphärogussteile  
Dokument Nr.: D0246506-2  
Rev. 2, vom 28.06.2017

#### Konzept Wöhlerlinien für Gusseisen

- [1.2.18] ENERCON GmbH:  
Anhang C, Allgemeines zur Betriebsfestigkeitsrechnung für Bauteile aus  
Gusseisen  
Dokument Nr.: D0166018-3  
Rev. 3, vom 05.01.2018

### **1.3 Lastannahmen**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, verschiedene NH, DIBt  
WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -  
Bericht Nr.: 8115920151-1 D IV  
Rev. 3, vom 12.03.2019

### **1.4 Zugehörige Prüfberichte**

- [1.4.1] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:  
Evaluation Report - Wind Turbines ENERCON E-126 EP3, E-138 EP3, IEC  
61400-22 - Design Basis -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-0 E  
Rev. 0, vom 28.03.2018

### **1.5 Hauptzeichnungen**

- [1.5.1] ENERCON GmbH:  
Gondelübersicht  
Zeichnung Nr.: EP3.00.106 - 1  
Rev. 1, vom 19.06.2017

## 2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):  
Richtlinie für Windenergieanlagen  
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung  
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011  
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen  
(IEC 61400-1:2005 + A1:2010)  
Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010

## 3 Einleitung

Die in diesem Prüfbericht unter Abschnitt 4.3 gelisteten maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen wurden hinsichtlich ihrer Anforderungen an Auslegung und Gebrauchstauglichkeit für die Verwendung in Windenergieanlagen geprüft.

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Anlagenkonzept

Die technische Spezifikation der Windenergieanlage ist dem Dokument [1.2.15] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer für alle Komponenten:	25 Jahre
Blattarretierung:	Motorbremsen der Pitchantriebe
Blattverstellsystem:	Verstellgetriebe mit Motor
Windrichtungsnachführung:	Verstellgetriebe mit Motor
Arretierung der Windrichtungsnachführung:	Motorbremsen der Azimutantriebe
Generatortyp:	Synchron
Generatorbezeichnung:	E-138 EP3-GE-01
Generatorhersteller:	ENERCON GmbH

### 4.2 Umgebungsbedingungen

Die maschinenbaulichen Komponenten wurden für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Normal	-10 °C < t < +40 °C	-20 °C < t < +50 °C

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

### 4.3 Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen

Für alle unten aufgeführten maschinenbaulichen Komponenten wurden Festigkeitsprüfungen oder Lastvergleiche auf der Grundlage der Auslegungslasten durchgeführt. Für den Nachweis der Komponenten wurden Spezifikationen, Auslegungsberechnungen, Datenblätter, Testberichte und Bauteilzeichnungen geprüft.

In der jeweiligen Komponentenspezifikation wird die zugehörige bauteilspezifische Hauptzeichnung zur Identifikation einer Komponente aufgeführt.

#### 4.3.1 Blattadapter

##### 4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Gussteil
Handelsbezeichnung:	Blade adapter EP3-BA-02
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.01.048 - 1, Rev. 1, vom 03.05.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.2 Blattlager

##### 4.3.2.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Zweireihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung:	12588115
Material:	42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.:	KUD02800-055WJ18-001-900 Rev. 02.3, vom 27.02.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

##### 4.3.2.2 Alternative Komponente

Hersteller:	IMO GmbH & Co. KG
Typ:	Zweireihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung:	12619
Material:	42CrMo4QT
Hauptzeichnung Nr.:	02-552800/4-12619, Rev. B, vom 18.06.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)



#### 4.3.2.3 *Alternative Komponente*

Hersteller: Thyssenkrupp Rothe Erde  
Typ: Zweireihige Kugeldrehverbindung  
Handelsbezeichnung: 36883230  
Material: 42CrMo4 V/QT  
Hauptzeichnung Nr.: 002.55.2920.000.48.140D, Rev. C, vom 06.04.2018  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.3 **Blattverstellgetriebe**

##### 4.3.3.1 *Komponentenspezifikation*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH  
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe  
Handelsbezeichnung: 12587200  
Übersetzung: 176,4  
Hauptzeichnung Nr.: 368 445 2000 99 0, Rev. 04.7, vom 26.02.2019  
Schnittzeichnung Nr.: 368 445 2000 00 0, Rev. 01.4, vom 16.04.2018  
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 445 2000 10 0, Rev. 01.1, vom 13.03.2018  
Anzahl der Antriebe je Blatt: 2  
Motor: RUCKh GN 132/4 EP 3/3  
emod GKFB132M/4-150  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

##### 4.3.3.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH  
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe  
Handelsbezeichnung: 12881014  
Übersetzung: 176,4  
Hauptzeichnung Nr.: 368 445 2000 99 2, Rev. 00.1, vom 26.02.2019  
Schnittzeichnung Nr.: 368 445 2000 00 0, Rev. 01.4, vom 16.04.2018  
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 445 2000 10 0, Rev. 01.1, vom 13.03.2018  
Anzahl der Antriebe je Blatt: 2  
Motor: RUCKh GN 132/4 EP 3/3  
emod GKFB132M/4-150  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.3.3 *Alternative Komponente*

Hersteller:	Bonfiglioli Trasmital
Typ:	Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	2T100142900
Übersetzung:	173,4
Hauptzeichnung Nr.:	I7070T002400, Rev. -, vom 30.07.2018
Schnittzeichnung Nr.:	A7070T008200, Rev. -, vom 30.07.2018
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	6630070799, Rev. -, vom 30.07.2018
Anzahl der Antriebe je Blatt:	2
Motor:	RUCKh GN 132/4 EP 3/3 emod GKFB132M/4-150
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.4 **Rotornabe**

##### 4.3.4.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Gussbauteil
Handelsbezeichnung:	Rotornabe EP3-ROH-07
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.01.056-3, Rev. 3, vom 06.07.2018, 2 Blätter
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.5 **Hauptlagerung**

##### 4.3.5.1 *Komponentenspezifikation*

Hersteller:	PSL, a.s. (ThyssenKrupp)
Typ:	Kegelrollenlager in O-Anordnung
<u>Nabenseitig</u>	
Handelsbezeichnung:	PSL612-415
Hauptzeichnung Nr.:	PSL612-415-PV_4, Rev. 4, vom 16.02.2018
<u>Generatorseitig</u>	
Handelsbezeichnung:	PSL612-416
Hauptzeichnung Nr.:	PSL612-416-PV_5, Rev. 5, vom 16.02.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.5.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: SKF GmbH  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: BT1-8212 A/VK443  
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8212 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: BT1-8213 A/VK443  
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8213 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.5.3 *Alternative Komponente*

Hersteller: FAG Schaeffler Technologies AG & Co. KG  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: F-627880.TR1-WPOS-H113  
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-627880.TR1-WPOS 000,  
Rev. AB, vom 12.03.2018  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: F-627881.TR1-WPOS-H113  
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-627881.TR1-WPOS 000,  
Rev. AB, vom 12.03.2018  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.6 **Rotorträger**

#### 4.3.6.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussbauteil  
Handelsbezeichnung: Rotorträger E-138 EP3  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.081-0, Rev. 0, vom 26.06.2018  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.7 **Achszapfen**

#### 4.3.7.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussteil  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.080-1, Rev. 01, vom 19.07.2018  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.8 Achsdeckel**

#### *4.3.8.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Stahlteil  
Material: C45 (DIN EN 10083)  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.059 - 3, Rev. 3, vom 15.05.2018  
Hinweis: Inkl. Schraubverbindung Achsdeckel/ Achszapfen  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.9 Rotorarretierung**

#### *4.3.9.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Arretierbolzen Zeichnung Nr.: EP3.09.198 - 2, Rev. 2, vom 23.07.2018  
Anzahl der Arretierungen: 3  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.10 Rotorbremse**

#### *4.3.10.1 Komponentenspezifikation*

Hersteller: KTR Systems GmbH  
Typ: Hydraulische Scheibenbremse  
Handelsbezeichnung: KTR-STOP YAW L C-30  
Hauptzeichnung Nr.: M 711257, Rev. 2, vom 05.03.2018  
Anzahl der Bremsen: 3  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.11 Maschinenträger**

#### *4.3.11.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussbauteil  
Handelsbezeichnung: Maschinenträger EP3-MC-04  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.444-7, Rev. 7, vom 11.01.2019, 6 Blätter  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.12 Generatorstator

#### 4.3.12.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Guss- und Schweißbauteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT / S355 J2+N
Zeichnung Nr. Statortragstern:	EP3.02.346-1, Rev. 1, vom 11.04.2018
Zeichnung Nr. Tragarm 2 Uhr:	EP3.02.458-7, Rev. 7, vom 07.11.2018
Zeichnung Nr. Tragarm 4 Uhr:	EP3.02.465-8, Rev. 8, vom 11.01.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 6 Uhr:	EP3.02.459-7, Rev. 7, vom 07.11.2018
Zeichnung Nr. Tragarm 8 Uhr:	EP3.02.466-8, Rev. 8, vom 16.01.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 10 Uhr:	EP3.02.457-8, Rev. 8, vom 16.01.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 12 Uhr:	EP3.02.460-7, Rev. 7, vom 07.11.2018
Zeichnung Nr. Statorring:	EP3.02.479-1, Rev. 1, vom 27.04.2018
Zeichnung Nr. Statorring:	EP3.02.481-1, Rev. 1, vom 27.04.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.13 Generatorrotor

#### 4.3.13.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Schweißbauteil
Handelsbezeichnung:	Rotor 710.7150
Material:	S355J2+N (1.0577) (DIN EN 10025)
Rotor Mittelteil Zeichnung Nr.:	EP3.02.480-2, Rev. 3, vom 20.08.2018, 6 Blätter
Rotor Seitenteil Zeichnung Nr.:	EP3.02.482-2, Rev. 2, vom 20.08.2018, 3 Blätter
Rotor Seitenteil Zeichnung Nr.:	EP3.02.484-2, Rev. 2, vom 20.08.2018, 3 Blätter
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindung zum Rotorträger
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.14 Azimutgetriebe

#### 4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 400/3446
Artikelcode:	12588010
Übersetzung:	1237.5
Hauptzeichnung Nr.:	368 446 4000 99 0, Rev. 03.2, vom 26.03.2019
Schnittzeichnung Nr.:	368 446 4000 00 0, Rev. 01.1, vom 20.12.2018
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	368 446 4000 10 0, Rev. 03.1, vom 24.05.2018
Anzahl der Antriebe:	12
Motoren:	Ruckh TRB 112M-4 PT 100 Brake E115 EMOD B 112M/4 WU
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.14.2 Alternative Komponente

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 400/3446
Artikelcode:	12879245
Übersetzung:	1237.5
Hauptzeichnung Nr.:	368 446 4000 99 1, Rev. 00.1, vom 04.12.2018
Schnittzeichnung Nr.:	368 446 4000 00 1, Rev. 01.2, vom 02.01.2019
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	368 446 4000 10 0, Rev. 03.1, vom 24.05.2018
Anzahl der Antriebe:	12
Motoren:	Ruckh TRB 112M-4 PT 100 Brake E115 EMOD B 112M/4 WU
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.14.3 Alternative Komponente

Hersteller:	Bonfiglioli Trasmital
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	711 T4F
Artikelcode:	2T100142860
Übersetzung:	1247
Hauptzeichnung Nr.:	I7110T003400, Rev. B, vom 20.12.2018
Schnittzeichnung Nr.:	A7110T010500, Rev. B, vom 20.12.2018
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	6630082099, Rev. A, vom 17.07.2018
Anzahl der Antriebe:	12
Motoren:	Ruckh TRB 112M-4 PT 100 Brake E115 EMOD B 112M/4 WU
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.15 Azimutlager

#### 4.3.15.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Zweireihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung:	12587508
Material:	42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.:	KUD03203-070WA18-001-900, Rev. 02.2, vom 06.03.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.15.2 Alternative Komponente

Hersteller: thyssenkrupp Rothe Erde GmbH  
 Typ: Zweireihige Kugeldrehverbindung  
 Handelsbezeichnung: 36887260  
 Material: 42CrMo4+QT  
 Hauptzeichnung Nr.: 091.70.3202.011.48.150D, Rev. A, vom 19.06.2018  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.16 Hydrauliksystem

##### 4.3.16.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: HOERBIGER Automatisierungstechnik GmbH  
 Handelsbezeichnung: HB14122-001A  
 Hauptzeichnung Nr.: HB14122-100A, Rev. -, vom 27.08.2018  
 Schaltplan Nr.: HB14122-001A, Rev. 2.6.3, vom 10.01.2019  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

Die Eignung der maschinenbaulichen Komponenten wurde für die in Tabelle 4.2 gelisteten Windenergieanlagen geprüft. Hierfür wurden die vom Hersteller ENERCON GmbH eingereichten Prüfunterlagen zugrunde gelegt. Für die dort aufgeführten Anlagenkonfigurationen liegen geprüfte Lastannahmen vor, die im Detail den Dokumenten unter Punkt 1.3 zu entnehmen sind.

Variante Nr.	WEA Bez.	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	DIBt 2012 Windzone	Geländekategorie
1	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02)	WZ 2	GK II
2	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	109.97 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01)	WZ 2	GK II
3	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01)	WZ 2	GK II
4	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	80.42 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01)	WZ 2	GK II
5	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	130.08 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-01)	WZ 2	GK II

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

## **5 Durchgeführte Prüfungen**

### **5.1 Prüfmethoden**

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Inhalt geprüft und bezüglich der Nachweismethoden und der Berechnungsgrundlagen bewertet. Dabei wurden die erforderlichen Sicherheiten und Spannungsreserven berücksichtigt. Die Prüfung erfolgte anhand von Spezifikationen, Berechnungsunterlagen und Zeichnungen, sowie zugehörigen Prüfberichten.

Die Beurteilung der statischen und betriebsfesten Auslegung der maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen basiert auf den Anforderungen der Prüfgrundlagen. Die vorgelegten Prüfunterlagen wurden auf der Grundlage von Plausibilitätsprüfungen oder Vergleichsrechnungen unter Anwendung von analytischen oder numerischen Berechnungsmethoden bewertet.

### **5.2 Mechanische Komponenten und Antriebe**

Die Tragfähigkeit der Kugeldrehverbindungen wurde auf der Grundlage von Hertz'schen Pressungen geprüft. Die maximalen Kontaktspannungen unter den Lastkombinationen von Axiallast, Radiallast und Kippmoment wurden mit den zulässigen Werten verglichen.

Die Lebensdauerberechnungen für die in den Antrieben verwendeten Wälzlager berücksichtigen die erforderlichen Eingangsparameter und vorhandenen Betriebsbedingungen und entsprechen dem internationalen Standard ISO 281 bzw. ISO/TS 16281.

Die Tragfähigkeit von Verzahnungen wurde unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestsicherheiten gegen Grübchenbildung und Zahnfußbruch nach dem internationalen Standard ISO 6336 geprüft.

Vergleichsrechnungen für die Prüfung der statischen und betriebsfesten Auslegung der Wellen erfolgten in Anlehnung an DIN 743, unter Beachtung festigkeitsrelevanter Einflüsse, wie Kerbwirkungen.

Alle weiteren lastübertragenden mechanischen Komponenten, wurden hinsichtlich ihrer statischen und betriebsfesten Auslegung auf der Grundlage der Zertifizierungsanforderungen und dem Stand der Technik geprüft.

### **5.3 Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen**

Die Bewertung der haupttragenden Strukturen bezieht sich auf Auslegungsnachweise wie Rotornabe, Blattadapter, Maschinenträger, Achszapfen, Rotorträger, Generatorrotor und Generatorstator inkl. der Schraubverbindungen zu den Anschlusskonstruktionen.

Bei Finite-Elemente-Berechnungen wurden Geometrie, Vernetzung, Elementauswahl und Randbedingungen geprüft. Die Bewertung der FE-Ergebnisse erfolgte über Vergleichsrechnungen oder Plausibilitätsprüfungen.



Schädigungsrechnungen erfolgten auf der Grundlage synthetischer Wöhlerkurven. Der Mittelspannungseinfluss und abmindernde Einflüsse auf die Schwingfestigkeit wurden berücksichtigt.

Die Festigkeit hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurde mit analytischen Methoden in Anlehnung an VDI 2230 Blatt 1 geprüft. Die Vergleichsrechnungen berücksichtigen dabei die auslegungsrelevanten Berechnungsgrößen wie Montagevorspannkraft, Krafteinleitung und Anziehungsfaktor.

Die Festigkeit einiger hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurden auf der Grundlage von FEM Analysen anhand detaillierter FE Modelle geprüft. Die Vorspannung der Schrauben sowie der Einfluss der Anschlusskonstruktionen wurden dabei in ausreichender Weise berücksichtigt.

Für einige Schraubverbindungen wurde von ENERCON ein statischer Wert für elastische Vorspannung angesetzt. Dabei wurden Effekte aus dem Anzugsverfahren, wie Setzungseffekte oder Verlust von Torsionsspannung direkt in dem Wert der Vorspannung berücksichtigt.

Dauerhafte plastische Dehnung in der Schraube, zum Beispiel durch Überlast, müssen durch angemessene Messmethoden abgesichert werden um Vorspannverlust zu verhindern und sind gegebenenfalls standortabhängig.

#### **5.4 Hinweise und Annahmen**

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für maschinenbauliche Komponenten und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Ausschließlich das relevante Kapitel 4.11 der Berechnung [1.1.26] wurde geprüft.

An jedem Rotorblatt befinden sich zwei Verstellantriebe. In dem Dokument [1.1.7], unter Berücksichtigung der Anforderungen im Wartungshandbuch [1.2.7], wurde gezeigt, dass ein Antrieb über die Motorbremse den Wartungslasten standhalten kann um einen defekten Antrieb zu tauschen. Eine separate Arretierung ist nicht notwendig.

#### **5.5 Prüfergebnis**

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei Extrem- und Betriebslasten vorhanden sind.

## **5.6 Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm**

Schraubverbindung Blattlager/ Blattadapter:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung
Schraubverbindung Azimutlager/ Turmkopfflansch:	Geprüft
Min. / max. Vorspannkraft der Schrauben M36-10.9:	387.6 kN / 581.4 kN
Turmkopfflansch:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung

## **6 Ausstehende Nachweise**

keine

## **7 Bedingungen**

- 7.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.

## 8 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieses Gutachtens geprüften maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen erfüllen die Anforderungen der Prüfgrundlagen in Bezug auf Tragfähigkeit und Auslegung für die zugrunde gelegten Annahmen, unter Beachtung der geforderten Lebensdauer von 25 Jahren.

Die unter Punkt 5.4 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 7 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit

Die Sachverständige:

A handwritten signature in blue ink that reads "C. Burges".

M.Eng. C. Burges

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink that reads "Ch. Neuhaus".

Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

### An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. R. Sommerfeld

Dr.-Ing. Y. Ou

Dipl.-Ing. W. Petruschke

# Gutachtliche Stellungnahme

## Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3

### - Elektrische Komponenten und Blitzschutz -

**TÜV NORD Report-Nr.:** 8115 022 604 - 5 D Rev. 0

**Prüfobjekt:** Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3

**Prüfumfang:**

- DIBt 2012
- DIN EN 61400-1

**Hersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 29 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	06.09.2019	Erste Fassung	H. Grafe

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Mitgeltende Dokumente .....	16
2	Prüfgrundlagen .....	16
3	Einleitung .....	18
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	18
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen .....	18
4.2	Klimatische Bedingungen .....	18
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten .....	18
5	Durchgeführte Prüfungen .....	23
5.1	Prüfmethode .....	23
5.2	Anmerkungen .....	23
5.3	Prüfbemerkungen .....	24
5.4	Schnittstellen .....	28
6	Auflagen .....	28
7	Schlussfolgerung .....	28

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### ENERCON E-138 EP3

[1.1.1] ENERCON  
EG/EU-Konformitätserklärung  
Dokument-Nr.: D0376121-12  
Rev. ENTWURF, Datum: 25.01.2019 (empfangen)

[1.1.2] ENERCON  
Zeichnung Nacelle EP3.00.106-1  
Dokument-Nr.: D0613870-0  
Rev. 1, Datum: 19.06.2017

#### Generator

[1.1.3] ENERCON  
Kurzbeschreibung Generator E-138 EP3-GE-01  
Dokument-Nr.: D0753860-0  
Rev. 0, Datum: 04.10.2018

[1.1.4] ENERCON  
Zeichnung Leistungsschild E-138 EP3-GE-01  
Dokument-Nr.: D0755225-0  
Rev. 0, Datum: 05.10.2018 (empfangen)

[1.1.5] ENERCON  
E-138 EP3-GE-01 Thermisches Verhalten und Prüfung nach DIN 60034  
Dokument-Nr.: D0753852-0  
Rev. 0, Datum: 03.10.2018

[1.1.6] ENERCON  
Herstellereklärung, Drehzahlauslegung des Generator-Rotors vom Typ  
E-138 EP3-GE-01  
Dokument-Nr.: D0753870-0  
Rev. 0, Datum: 28.09.2018

[1.1.7] ENERCON  
Fertigungs- und Prüfprotokolle Statorring E-138 EP3-GE-01  
Dokument-Nr.: FPP\_1041\_E-138\_EP3-GE-01\_de-de\_Rev001\_Statorring  
Rev. 1, Datum: 14.12.2018

[1.1.8] ENERCON  
Fertigungs- und Prüfprotokolle E-138 EP3-GE-01 Polschuhe  
Dokument-Nr.: FPP\_1039\_E-138\_EP3-GE-01\_de-de\_Rev002\_Polschuhe  
Rev. 2, Datum: 18.01.2019

### Umrichter

- [1.1.9] ENERCON  
Technische Beschreibung 690V B2B Converter PC17034  
Dokument-Nr.: D0409186-0  
Rev. 0, Datum: 09.11.2018
  
- [1.1.10] ENERCON  
Datenblatt PC17034 B2B-Umrichter (Artikel-Nr. 663699)  
Dokument-Nr.: D0798538-0 / DA  
Rev. 0, Datum: 06.03.2019 (empfangen)
  
- [1.1.11] ENERCON  
Technische Information Kühlung Leistungsschrank B2B PC17034  
Dokument-Nr.: D0754087-0 / DA  
Rev. -, Datum: 01.10.2018
  
- [1.1.12] ENERCON  
Zeichnung Leistungsschrank mit Prime-Pack Modulen – Baugruppenüber-  
sicht  
Dokument-Nr.: D0749015-0  
Rev. 0, Datum: 17.09.2018
  
- [1.1.13] ENERCON  
Schaltplan Leistungsschrank  
Dokument-Nr.: D0604831-5  
Rev. 5 (ENTWURF), Datum: 12.12.2018
  
- [1.1.14] ENERCON  
Typenschild 690V B2B Converter PC17034  
Dokument-Nr.: D0787928-0  
Rev. 0, Datum: 29.01.2019
  
- [1.1.15] ENERCON  
Messbericht PC17034 Erwärmungslauf TRL6  
Dokument-Nr.: D0817165-0  
Rev. 0, Datum: 17.04.2019
  
- [1.1.16] ENERCON  
Prüfprotokoll – Leistungsschrank B2B (Leistungstest)  
Seriennummer: 15-10  
Rev. 0, Datum: 26.07.2018
  
- [1.1.17] ENERCON  
Versuchsprotokoll B2B Chopper eingebaut im Versuchsträger  
Dokument-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD  
Rev. 0, Datum: 01.02.2016

- [1.1.18] ENERCON  
Versuchsprotokoll Kurzschluss DC-seitig – Version Thyristor  
Dokument-Nr.: D0435031xxxxx-0/DD  
Rev. 0, Datum: 01.02.2016

### Blitzschutz

- [1.1.19] ENERCON  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Blitzschutz  
Dokument-Nr.: D0260891-7  
Rev. -, Datum: 16.02.2018
- [1.1.20] ENERCON  
Technische Information Messung des Erdungswiderstands  
Dokument-Nr.: PLM-EWES-DC008-Messung des Erdungswiderstands-  
Rev006de-de  
Rev. 6, Datum: 30.08.2016
- [1.1.21] ENERCON  
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan – Flachgründung mit Auftrieb  
Dokument-Nr.: D0689733-0  
Rev. -, Datum: 28.03.2018
- [1.1.22] ENERCON  
Technische Beschreibung Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-138 EP3-  
RB-01  
Dokument-Nr.: D0650138-0  
Rev. 0, Datum: 08.01.2018
- [1.1.23] TÜV Süd  
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem  
Prüfnummer: 2632058-31-d  
Rev. 0, Datum: 30.08.2017
- [1.1.24] ENERCON  
Blitzschutzsystem Zusammenbau  
Dokument-Nr.: R1381.190.10000  
Rev. 0, Datum: 21.03.2018
- [1.1.25] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile  
Dokument-Nr.: R1381.190.10001  
Rev. 1, Datum: 28.08.2018
- [1.1.26] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel  
Dokument-Nr.: R1381.190.10002  
Rev. 2, Datum: 16.10.2018



- [1.1.27] ENERCON  
Blitzschutzsystem Rezeptor 70  
Dokument-Nr.: R01.190.015  
Rev. 2, Datum: 25.11.2014
  
- [1.1.28] ENERCON  
Blitzschutzsystem Rezeptor 70-45 mm  
Dokument-Nr.: R01.190.023  
Rev. 2, Datum: 25.11.2014
  
- [1.1.29] ENERCON  
Verbindung Kontaktmutter  
Dokument-Nr.: R01.190.10001  
Rev. 0, Datum: 04.09.2015
  
- [1.1.30] ENERCON  
Kabelhalter Kabelklemmprofil  
Dokument-Nr.: R01.190.10006  
Rev. 2, Datum: 15.08.2017
  
- [1.1.31] ENERCON  
Blitzschutzsystem Omega Profil 500mm  
Dokument-Nr.: R01.190.10029  
Rev. 1, Datum: 21.12.2017
  
- [1.1.32] ENERCON  
Blitzschutzsystem Kontaktschraube  
Dokument-Nr.: R01.190.10032  
Rev. 0, Datum: 07.11.2016
  
- [1.1.33] ENERCON  
Kabelhalter Kabelklemmprofil 55 mm  
Dokument-Nr.: R01.190.10033  
Rev. 1, Datum: 15.08.2017
  
- [1.1.34] ENERCON  
Blitzschutzsystem Kabelsicherung Lasteinleitungsrippe  
Dokument-Nr.: R01.190.10034  
Rev. 1, Datum: 09.10.2017
  
- [1.1.35] ENERCON  
Blitzschutzsystem Kabelschutz Lasteinleitungsrippe  
Dokument-Nr.: R01.190.10045  
Rev. 0, Datum: 16.01.2018

- [1.1.36] ENERCON  
RBL Schale Druck- und Saugseite GFK Einleger Rezeptor  
Dokument-Nr.: R1031.130.10010  
Rev. 0, Datum: 06.12.2016
- [1.1.37] ENERCON  
Blitzschutzsystem PU - Block  
Dokument-Nr.: R1031.190.10001  
Rev. 0, Datum: 21.09.2016
- [1.1.38] ENERCON  
Blitzschutzsystem Ableitring  
Dokument-Nr.: R1265.190.10003  
Rev. 0, Datum: 16.01.2018

#### Schleifringübertrager

- [1.1.39] ENERCON  
Zeichnung Schleifring 79mm 3x70mm<sup>2</sup> Axialanschluss  
Dokument-Nr.: EP3.08.107-0  
Rev. -, Datum: 26.06.2018
- [1.1.40] Schunk  
Zeichnung Doppel-Schenkel-Halter 32x16x28  
Dokument-Nr.: E06.2116.11; ENERCON Dokument-Nr.: D0667050-0  
Rev. -, Datum: 18.01.2018
- [1.1.41] Schunk  
Zeichnung Doppel-Schenkel-Halter 40x16x28  
Dokument-Nr.: E06.2116.10; ENERCON Dokument-Nr.: D0667051-0  
Rev. -, Datum: 18.01.2018
- [1.1.42] ENERCON  
Spezifikation Schleifringübertrager EP3-002-BH1  
Dokument-Nr.: D0768107-0  
Rev. 0, Datum: 16.11.2018

#### Elektrischer Azimutantrieb

- [1.1.43] ENERCON  
Spezifikation Azimutmotor 3,3 kW MK 115 03 - 2  
Dokument-Nr.: D0236907-2  
Rev. 2, Datum: 09.05.2018
- [1.1.44] ENERCON  
Zeichnung Azimumotor 3,3kW 45Nm 2. Wellenende  
Dokument-Nr.: 115.03.005-1  
Rev. 1, Datum: 23.08.2013

- [1.1.45] Ruckh Elektromotorenbau  
Typenblatt Ruckh TRB 112L-4 PT 100 Brake für ENERCON E115  
Dokument-Nr.: D0236907-2; ENERCON Dokument-Nr.: D0706335-0  
Rev. 1.2, Datum: 23.05.2018
  
- [1.1.46] Ruckh Elektromotorenbau  
Erklärung der EG-Konformität TRB112M-4 PT100 Brake E115  
ENERCON Dokument-Nr.: D0706336-0  
Rev. -, Datum: 01.02.2018
  
- [1.1.47] Ruckh Elektromotorenbau  
Zeichnung E115 Azimut-Antrieb ohne Pulsor  
Dokument-Nr.: 227.0000010.01; ENERCON Dokument-Nr.: D0706338-0  
Rev. -, Datum: 25.05.2018 (empfangen)
  
- [1.1.48] ENERCON  
Messbericht Azimutmotor E-101/ E-115 Ruckh Prototyp 2  
Dokument-Nr.: D0249287  
Rev. 0, Datum: 30.04.2010
  
- [1.1.49] Emod Motoren  
Motordatenblatt B 112M/4 WU  
ENERCON Dokument-Nr.: D0393294-0  
Rev. -, Datum: 30.04.2014

#### Elektrischer Pitchantrieb

- [1.1.50] ENERCON  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Elektrisches Blattverstellungssystem  
Dokument-Nr.: D0744064-0  
Rev. 0, Datum: 25.09.2018
  
- [1.1.51] ENERCON  
Spezifikation Blattverstellmotor EP3/3  
Dokument-Nr.: D0645627-3  
Rev. 3, Datum: 09.08.2018
  
- [1.1.52] ENERCON  
Zeichnung Blattverstellmotor DC-5.6kW-38x58-FF265-65  
Dokument-Nr.: EP3.01.072-0  
Rev. 0, Datum: 09.02.2018
  
- [1.1.53] Emod Motoren  
Massblatt für Motor GKF 132M B5  
Dokument-Nr.: B0613.22.112395-00; ENERCON Dokument-Nr.: D0681890-0  
Rev. 0, Datum: 22.02.2018

- [1.1.54] Emod Motoren  
Datenblatt DC Pitchmotor ENERCON EP3/3  
ENERCON Dokument-Nr.: D0796560-0  
Rev. 3, Datum: 22.10.2018
- [1.1.55] Ruckh Elektromotorenbau  
Typenblatt GN 132/4 EP3/3 EP3/3 Pitch  
Dokument-Nr.: GN132/4 EP3/3; ENERCON Dokument-Nr.: D0674009-0  
Rev. 1.0, Datum: 01.02.2018
- [1.1.56] Ruckh Elektromotorenbau  
Erklärung EG-Konformität  
ENERCON Dokument-Nr.: D0674008-0  
Rev. -, Datum: 01.02.2018
- [1.1.57] Ruckh Elektromotorenbau  
Zeichnung EP3/3 Pitch  
Dokument-Nr.: 230.000089.01; ENERCON Dokument-Nr.: D0674002-0  
Rev. -, Datum: 01.02.2018

#### Back-up System, Ultrakondensatoren

- [1.1.58] Maxwell  
Data sheet K2 Series Ultracapacitors  
Dokument-Nr.: 1015370.2; ENERCON Dokument-Nr.: D0157215-1  
Rev. -, Datum: 01.06.2018 (empfangen)
- [1.1.59] Nesscap  
Data sheet 2.7V-3000F, M12/M12 T-Type  
Dokument-Nr.: 20150316; ENERCON Dokument-Nr.: D0390022-0  
Rev. 1, Datum: 01.06.2018 (empfangen)

#### Kabel und elektrische Ausrüstung

- [1.1.60] ENERCON  
Auslegung Turmkabel E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0709537-0  
Rev. 0, Datum: 15.11.2018 (empfangen)
- [1.1.61] Prysmian  
Data sheet PROTOTHEN-X (N)A2XSY  
ENERCON Dokument-Nr.: D0629505-0  
Rev. -, Datum: 31.07.2017
- [1.1.62] Prysmian  
Data sheet WINDFLEX GLOBAL EMC S-3GDSHOEU  
ENERCON Dokument-Nr.: D0630109-0  
Rev. -, Datum: 04.09.2017

- [1.1.63] ENERCON  
Technical Description ENERCON Wind Energy Converter Steady-State  
Short-Circuit Calculations  
Dokument-Nr.: D0138322-9  
Rev. 9, Datum: 23.02.2018

### Schaltpläne

- [1.1.64] ENERCON  
Übersichtsschaltplan E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0665240-1  
Rev. 1, Datum: 23.04.2019
- [1.1.65] ENERCON  
Blattregelschrank  
Dokument-Nr.: D0714434-2  
Rev. 2, Datum: 11.02.2019
- [1.1.66] ENERCON  
Blattrelaisschrank  
Dokument-Nr.: D0709944-2  
Rev. 2, Datum: 14.02.2019
- [1.1.67] ENERCON  
Blattsicherheitsschrank  
Dokument-Nr.: D0742995-1  
Rev. 1, Datum: 04.12.2018
- [1.1.68] ENERCON  
Kondensatoreinheit Rotor  
Dokument-Nr.: D0517670-1  
Rev. 1, Datum 27.01.2017
- [1.1.69] ENERCON  
Rotorunterverteilung  
Dokument-Nr.: D0713816-2  
Rev. 2, Datum: 07.12.2018
- [1.1.70] ENERCON  
Schleifringübertrager  
Dokument-Nr.: D0749133-1  
Rev. 1, Datum: 19.12.2018
- [1.1.71] ENERCON  
Überdrehzahlschalterbox  
Dokument-Nr.: D0787934-0  
Rev. 0, Datum: 28.01.2019

- [1.1.72] ENERCON  
Überspannungsschutz Rotor  
Dokument-Nr.: D0717699-0  
Rev. 0, Datum: 25.06.2018
  
- [1.1.73] ENERCON  
Unterverteilung Blattverstellung  
Dokument-Nr.: D0653208-2a  
Rev. 2, Datum: 12.06.2018
  
- [1.1.74] ENERCON  
Unterverteilung Rotorsensorik  
Dokument-Nr.: D0716502-1  
Rev. 1, Datum: 11.09.2018
  
- [1.1.75] ENERCON  
Gondelsteuerschrank  
Dokument-Nr.: D0758518-1  
Rev. 1, Datum: 07.03.2019
  
- [1.1.76] ENERCON  
Akkuschrank  
Dokument-Nr.: D0665360-0  
Rev. 0, Datum: 16.01.2018
  
- [1.1.77] ENERCON  
Azimutsteuerung  
Dokument-Nr.: D0685894-3  
Rev. 3, Datum: 04.03.2019
  
- [1.1.78] ENERCON  
Erregersteller  
Dokument-Nr.: D0638320-0  
Rev. 0, Datum: 10.07.2018
  
- [1.1.79] ENERCON  
Fehlerstromüberwachung Generator  
Dokument-Nr.: D0743703-1  
Rev. 1, Datum: 17.12.2018
  
- [1.1.80] ENERCON  
Freischaltbox Blattheizung  
Dokument-Nr.: D0722985-1  
Rev. 1, Datum: 06.12.2018

- [1.1.81] ENERCON  
Hauptverteilung Gondel  
Dokument-Nr.: D0765814-1a  
Rev. 1a, Datum: 19.01.2019
  
- [1.1.82] ENERCON  
Schaltschrank el. Grundversorgung Gondel  
Dokument-Nr.: D0724906-2  
Rev. 2, Datum: 16.11.2018
  
- [1.1.83] ENERCON  
Statorunterverteilung  
Dokument-Nr.: D0706547-1  
Rev. 1, Datum: 13.06.2018
  
- [1.1.84] ENERCON  
Überspannungsschutz Generator  
Dokument-Nr.: D0771730-1  
Rev. 1, Datum: 01.04.2019
  
- [1.1.85] ENERCON  
Unterverteilung Dachmodul  
Dokument-Nr.: D0665663-1  
Rev. 1, Datum: 06.09.2018
  
- [1.1.86] ENERCON  
Unterverteilung  
Dokument-Nr.: D0750427-0  
Rev. 0, Datum: 18.09.2018
  
- [1.1.87] ENERCON  
Unterverteilung Statortemperaturfühler  
Dokument-Nr.: D0745793-0a  
Rev. 0a, Datum: 28.09.2018
  
- [1.1.88] ENERCON  
Elektrische Ausrüstung  
Dokument-Nr.: D0661624-0  
Rev. 0, Datum: 29.12.2017
  
- [1.1.89] ENERCON  
Elektrische Ausrüstung  
Dokument-Nr.: D0710098-1  
Rev. 1, Datum: 14.02.2019

- [1.1.90] ENERCON  
Hauptverteilung WEA  
Dokument-Nr.: D0770900-0a  
Rev. 0a, Datum: 26.11.2018
  
- [1.1.91] ENERCON  
Netzfilterschrank  
Dokument-Nr.: D0642619-1  
Rev. 1, Datum: 20.09.2018
  
- [1.1.92] ENERCON  
Schaltschrank el. Grundversorgung WEA  
Dokument-Nr.: D0711535-2  
Rev. 2, Datum: 04.12.2018
  
- [1.1.93] ENERCON  
Steuerschrank Transformator  
Dokument-Nr.: D0757359-1  
Rev. 1, Datum: 04.02.2019
  
- [1.1.94] ENERCON  
Steuerschrank Rückkühleinheit  
Dokument-Nr.: D0731028-4  
Rev. 4, Datum: 20.03.2019
  
- [1.1.95] ENERCON  
Steuerschrank Kühlkomponenten  
Dokument-Nr.: D0744283-3  
Rev. 3, Datum: 22.03.2019
  
- [1.1.96] ENERCON  
Steuerschrank  
Dokument-Nr.: D0783791-0  
Rev. 0, Datum: 11.03.2019
  
- [1.1.97] ENERCON  
Stromschiene  
Dokument-Nr.: D0748725-1  
Rev. 1, Datum: 20.03.2019
  
- [1.1.98] ENERCON  
USV Anlagensteuerung  
Dokument-Nr.: D0661298-3  
Rev. 3, Datum: 06.12.2018



[1.1.99] ENERCON  
Versorgung Steuerschrank Transformator  
Dokument-Nr.: D0686326-1  
Rev. 1, Datum: 14.08.2018

[1.1.100] ENERCON  
DC Ladeinheit  
Dokument-Nr.: D0686074-1  
Rev. 1, Datum: 01.04.2019

[1.1.101] ENERCON  
Übersichtsschaltplan  
Dokument-Nr.: D0735453-0  
Rev. 0, Datum: 25.09.2018

[1.1.102] ENERCON  
Übersichtsschaltplan Erdung E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0712117  
Rev. 0, Datum: 26.09.2018

#### Transformator

[1.1.103] ENERCON  
Spezifikation Transformer 4,2MVA 630V KW L  
Dokument-Nr.: D0628628-3  
Rev. 3, Datum: 24.07.2018

[1.1.104] ENERCON  
Type certification of distribution transformers  
Dokument-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001 ger-eng  
Rev. 1, Datum: 17.02.2014

[1.1.105] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical data sheet HPNW 4200A-1775T07001  
Dokument-Nr.: 1775T07D01-180625; ENERCON Doc.-No.: D0741864-0  
Rev. -, Datum: 25.06.2018

[1.1.106] J. Schneider Elektrotechnik  
Dimension sheet HPNW 4200A-1775T10001  
Dokument-Nr.: 1775T07-0001-A; ENERCON Dokument-Nr.: D0750181-0  
Rev. A, Datum: 13.06.2018

[1.1.107] J. Schneider Elektrotechnik  
Test certificate HPNW 4200A-1775T07001  
Seriennr.: 195800; ENERCON Dokument-Nr.: D0750179-0  
Rev. A, Datum: 07.09.2018

- [1.1.108] J. Schneider Elektrotechnik  
Gebrauchsanleitung 3Ph Transformatoren mit Isolierflüssigkeit in Hermetikausführung (HPNW)  
Dokument-Nr.: 1775T07B01; ENERCON Dokument-Nr.: D070051-0  
Rev. -, Datum: 16.07.2018
- [1.1.109] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical data sheet HPNW 4200A  
Dokument-Nr.: 0000T02D01; ENERCON Dokument-Nr.: D0771373-0  
Rev. -, Datum: 19.11.2018

### Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.110] ENERCON  
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul  
Dokument-Nr.: PLM-EWES-SP022 MS-Schaltanlage-Rev001de\_de  
Rev. 1, Datum: 26.07.2017
- [1.1.111] ENERCON  
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul  
Dokument-Nr.: PLM-EWES-SP026 MS-Schaltanlage Kurzversion-Rev000de\_de  
Rev. 0, Datum: 07.11.2017
- [1.1.112] Driescher  
Technical Data MINEX ABS® zero 12-24 kV  
Dokument-Nr.: E6697-A14Z ABS12-24; ENERCON Dokument-Nr.: D0708078-0  
Rev. -, Datum: 15.06.2016
- [1.1.113] Driescher  
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L  
ENERCON Dokument-Nr.: D0751294-0  
Rev. -, Datum: 19.09.2018
- [1.1.114] Driescher  
Technische Beschreibung ABS® zero  
ENERCON Dokument-Nr.: D0708521-0  
Rev. -, Datum: 18.09.2018 (empfangen)
- [1.1.115] Driescher  
Zeichnung SF6-Schaltanlage Minex/ABS/ZERO 24kV/630A K-L-1700  
Dokument-Nr.: 0178695; ENERCON Dokument-Nr.: D0710906-1  
Rev. 001, Datum: 04.09.2018

- [1.1.116] Ormazabal  
Technische Beschreibung cgm.3  
Dokument-Nr.: CA-112-DE-1611; ENERCON Dokument-Nr.: D0783740-0  
Rev. -, Datum: 23.05.2019 (empfangen)
- [1.1.117] Ormazabal  
Schaltplan cgm.3  
Dokument-Nr.: E08977; ENERCON Dokument-Nr.: D0821342-0  
Rev. 04, Datum: 29.04.2019

### EMV

- [1.1.118] ENERCON  
Prüfanforderungen EMV Erforderliche Prüfungen  
Dokument-Nr.: D0652486-3  
Rev. 3, Datum: 25.04.2018

## **1.2 Mitgeltende Dokumente**

- [1.2.1] ENERCON  
Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0556048-5  
Rev. 5, Datum: 26.03.2018
- [1.2.2] ENERCON  
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen  
Dokument-Nr.: D0666243-1  
Rev. 1, Datum: 15.05.2018
- [1.2.3] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
Evaluation Report ENERCON E-138 EP3  
Electrical Equipment and Lightning Protection  
TÜV NORD Report Nr.: 8115 022 604 – 5 E, Rev. 1, Datum: 27.05.2019
- [1.2.4] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
Evaluation Report ENERCON E-126 EP3, E-138 EP3, IEC 61400-22  
Design Basis  
TÜV NORD Report Nr.: 8115 022 604 – 0 E, Rev. 0, Datum: 28.03.2018

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen  
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,  
Fassung Oktober 2012
- [2.2] IEC 61400-22:2010 (DIN EN 61400-22:2011)  
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung

- [2.3] IEC 61400-1 (DIN EN 61400-1:2011)  
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen  
Dritte Ausgabe 2005-08 mit Änderungen A1 2010-07
- [2.4] IEC 60034-1:2010 (DIN EN 60034-1:2011)  
Drehende elektrische Maschinen  
Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- [2.5] IEC 60204-1:2016 (DIN EN 60204-1:2007)  
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -  
Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [2.6] IEC 61400-24:2010 (DIN EN 61400-24:2011)  
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.7] IEC 62305:2010 Serie (DIN EN 62305:2011)  
Blitzschutz
- [2.8] IEC 60076-1:2011 (DIN EN 60076:2012)  
Leistungstransformatoren, Teil 1: Allgemeines
- [2.9] IEC 62271-1:2007 (DIN EN 62271-1:2007)  
Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen  
Teil 1: Gemeinsame Bestimmungen
- [2.10] DIN EN 62477-1:2013-04  
Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme und -be-  
triebsmittel, Teile 1: Allgemein
- [2.11] EN 61000-6-4:2006 + A1:2010  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Stör-  
aussendung für Industriebereiche
- [2.12] EN 61000-6-2:2005  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Stör-  
festigkeit für Industriebereiche
- [2.13] Verordnung (EU) Nr. 548/2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des  
Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittelleis-  
tungs- und Großleistungstransformatoren
- [2.14] DIN 50522:2010  
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
- [2.15] DIN 18014:2014  
Fundamenterder – Allgemeine Planungsgrundlagen

### 3 Einleitung

In der DIBt-Richtlinie [2.1] werden keine direkten Anforderungen an die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme die Anforderungen der IEC 61400-22 / DIN EN 61400-22 [2.2] und der IEC 61400-1 / DIN EN 61400-1 [2.3] als Prüfgrundlage definiert. Die WEA ENERCON E-138 EP3 wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-22 und IEC 61400-1 überprüft [1.2.3].

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Beschreibung der WEA Konfigurationen

Die Prüfung des elektrischen Systems und des Blitzschutzes berücksichtigt die folgenden WEA Konfigurationen:

WEA Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Nennleistung	Turm / Hubhöhe	Rotordurchmesser / Blatt	Klimabedingung
1	E-138 EP 3	50 Hz	3.5 MW	Stahl oder Hybrid / 81, 111, 131, 160 m	138 m / E-138 EP3-RB-01	STW / CCV <sup>1</sup>

Tabelle 4.1: WEA Konfigurationen

Die IEC 61400-1 führt eine Standardluftdichte von 1,255 kg/m<sup>3</sup> auf, die bei der Evaluierung der Komponenten zu beachten ist. Die angegebene Luftdichte gibt den durchschnittlichen Wert bei 1000 m über NN Installationshöhe an. Dieser Wert wurde für die vorliegenden Prüfungen herangezogen.

### 4.2 Klimatische Bedingungen

Die WEA Konfigurationen in Tabelle 4.1 sind für die folgenden Temperaturbedingungen ausgelegt:

Temperatur Version:	Betriebstemperatur	Auslegungstemperatur
Standardwetter-Option (STW)	-10 °C bis +40 °C	-20 °C bis +50 °C
Kaltwetter-Option (CCV)	-40 °C bis +50 °C <sup>2</sup>	-40 °C bis +50 °C

Tabelle 4.2: Temperaturbedingungen

### 4.3 Eigenschaften Elektrische Komponenten

<sup>1</sup> STW: Standard Weather Edition, CCV: Cold Climate Version

<sup>2</sup> Leistungsbegrenzung unterhalb von -30 °C.

- **Generator**

Typ:	ENERCON
Hersteller:	synchron
Bezeichnung:	E-138 EP3-GE-01
WEA Konfiguration:	1
Nennleistung:	3800 kW
Nennspannung:	6 * 2Y * 740 V AC
Nennstrom:	290 A
Nenndrehzahl:	10.5 min <sup>-1</sup>
Frequenz:	10.7 Hz
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	IP23
Kühlart:	IC3A6
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 20 °C <sup>3</sup>

- **Umrichter**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	Leistungsschrank B2B PC17034
Artikelnummer:	663699
WEA Konfiguration:	1
Leistung (Netzseite):	365 kVA
Nennspannung (Eingang):	630 V +20 %, -15 %
Nennstrom (Eingang):	335 A
Spannung (Ausgang):	0 - 740 V AC
Nennstrom (Ausgang):	335 A
Frequenz:	50 / 60 Hz ± 7 Hz
Schutzart:	IP01 (installiert IP21)

---

<sup>3</sup> Steigt die Umgebungstemperatur über 20 °C, wird der Generator temperaturgeregelt weiterbetrieben. Dieses kann zu einer Leistungsreduktion führen.

Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis 55 °C

• **Pitch System**

**Motor:**

Hersteller:	Emod	Ruckh
Prinzip:	DC Doppelschlussmotor	
Bezeichnung:	GFKB132M/4-150	GN 132/4 EP3/3
WEA Konfiguration:	1	1
Nennleistung:	5,6 kW	5,6 kW
Nennspannung (Läufer/ Erreger):	150 V DC / 162.5 V DC	150 V DC
Erregerspannung:	162,5 V DC	150 V – 170 V DC
Nennstrom:	46 A	52 A
Erregerstrom:	1,1 A	1,25 A
Nenndrehzahl:	2050 min <sup>-1</sup>	2200 min <sup>-1</sup>
Nenndrehmoment:	26,1 Nm	26 Nm
Nennbremsmoment:	65 Nm	65 Nm
Isolationsklasse:	F	F
Schutzart:	IP55	IP55
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 60 °C	-40 °C bis 60 °C

**Back-up System:**

Typ:	Ultracapacitor	
Hersteller:	Maxwell	Nesscap
Bezeichnung:	BCAP3000	ESHSR-3000C0-002R7A8T1
WEA Konfiguration:	1	
Anzahl pro Blatt	4 Module (je 94 F, 75 V)	
Nennspannung (DC):	2,7 V (Einzelkapazität) / 75 V (Modulspannung)	

- **Azimutmotor**

Hersteller:	Ruckh	Emod
Typ:	3 Asynchronmotor	
WEA Konfiguration:	1	1
Bezeichnung:	TRB 112M-4 PT 100 Brake E-115	B 112M/4 WU
Nennleistung:	3,3 kW	3,3 kW
Nennspannung:	400 V	400 V
Nennstrom:	6,6 A	6.9 A
Nenndrehzahl:	1360 min <sup>-1</sup>	1350 min <sup>-1</sup>
Frequenz:	50 Hz	50 Hz
Isolationsklasse:	H	F
Schutzart:	IP55	IP55
Bauklasse:	IM V1	B5 / V1
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 60 °C	max. 60 °C <sup>4</sup>

- **Schleifring**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	EP3-002-BH1
WEA Konfiguration:	1
Kontakte:	29 + 1 FORJ
Nenndrehzahl:	13 min <sup>-1</sup>
Schutzart:	IP53
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 70 °C

- **Transformator**

Hersteller:	J. Schneider Elektrotechnik
Bezeichnung:	HPNW 4200A-1775T07001
WEA Konfiguration:	1

---

<sup>4</sup> Der Motor von EMOD wird nur in der Temperaturversion STW installiert.



Typ:	flüssigkeitsgefüllt
Frequenz:	50 Hz
Nennleistung:	4200 kVA
Nennspannung (HV):	10.0 kV
Nennspannung (LV):	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5
Tab:	+2,5/5/7,5/10 %
Isoliermedium:	Ester Midel 7131
Kühlung:	KFWF
Schutzart:	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C

- **Mittelspannungsschaltanlage**

Hersteller:	Driescher	Ormazabal
Bezeichnung:	Minex ABS® zero 12-24 kV	cgm.3
WEA Konfiguration:	1	1
Frequenz:	50/60 Hz	50/60 Hz
Nennspannung:	12 kV   17.5 kV   24 kV	36 kV
Nennstrom (Stromschiene):	630 A	400/630 A
Nennstrom (Leistungsschalter):	630 A	600 A
Schutzart:	Tank IP67	Tank IPX8 <sup>5</sup>
Isolationsmedium:	SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>
Lichtbogenklassifizierung:	IAC AFLR 20kA 1s	IAC AFLR 20kA 1s
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 60 °C	-30 °C bis 40 °C

- **Blitzschutz**

Blitzschutz Level:	LPL I
--------------------	-------

---

<sup>5</sup> Übriges Gehäuse IP2XD

- **Elektrische Netzanschlussbedingungen**

WEA Konfiguration:	1
Betriebsspannung:	24 kV und 36 kV
Betriebsfrequenz:	50 Hz
Spannungsungleichheit	Nicht definiert

## **5 Durchgeführte Prüfungen**

### **5.1 Prüfmethode**

Die eingereichten Dokumente wurden auf Vollständigkeit, Plausibilität und Erfüllung der spezifizierten Anforderungen der relevanten Normen überprüft. Diese Anforderungen resultieren insbesondere aus dem Kapitel 10 der IEC 61400-1 [2.3].

### **5.2 Anmerkungen**

- [5.2.1] Während der Inbetriebnahme und des ersten Starts der WEA sollten einige Tests durchgeführt werden. Unter anderem sollten die installierten Kabel auf Druckstellen geprüft werden. Des Weiteren sollten die Kabelbezeichnungen mindestens stichprobenartig überprüft werden. Diese Tests sind nur zwei Beispiele für Prüfungen, die durchgeführt werden sollten, bevor die WEA in den normalen Betrieb geht.
- [5.2.2] Es ist zu beachten, dass die Blitzableitung durchgängig und korrekt mit dem Erdungssystem verbunden ist. Zusätzliche Komponenten, welche nicht Teil der vorliegenden Prüfungen sind, wie z.B. Flugbefeuern oder Eissensoren, sind korrekt in das bestehende Blitzschutzsystem zu integrieren.
- [5.2.3] Die Konformität der Erdungsanlage des Fundamentes mit den einschlägigen Standards (DIN EN 50522, bzw. DIN 18014 für das Erdungssystem einer Hochspannungsanlage) und die Berücksichtigung der lokalen Vorschriften und Bedingungen vor Ort sind in Form eines Berichts zu dokumentieren. Dieser soll von einem lokalen Experten erstellt und als Teil der WEA Dokumentation übermittelt werden. ENERCON hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.
- [5.2.4] Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Kabel von Nagetieren oder anderen Tieren beschädigt werden können, so müssen bewehrte Kabel oder Schutzrohre verwendet werden. ENERCON hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.

[5.2.5] Die Erfüllung der Anforderungen der lokalen Netzbetreiber und die Einhaltung der Netzanschlusskriterien sind vom Hersteller vor der WEA-Installation zu überprüfen und nachzuweisen. Diese Nachweise sind nicht Teil der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme, sondern sind separat im Rahmen der Netzanschlussbegutachtung der Windenergieanlagen und der Windparks zu erbringen.

[5.2.6] Die Konformitätsbescheinigung für die E-138 EP3 [1.1.1] liegt nur im Entwurf vor.

[5.2.7] Bei Installationen der E-138 EP3 über 1000 m ü. NN ist zu prüfen, ob die elektrischen Komponenten die geänderten Anforderungen erfüllen.

### **5.3 Prüfbemerkungen**

#### **5.3.1 Allgemeine Anforderungen an das elektrische System**

##### **Generator**

Der Generator E-138 EP3-GE-01 von ENERCON ist in der WEA E-138 EP3 [1.1.3] - [1.1.6] installiert. Es ist ein hoch-poliger Synchrongenerator. Die Funktion bei definierten Umgebungsbedingungen wird mit Hilfe von verschiedenen Temperatursensoren sichergestellt. Der Generator E-138 EP3-GE-01 wurde entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 konstruiert.

Verschiedene Qualitätsprüfungen werden während der Generatorfertigung durchgeführt [1.1.7] - [1.1.8]. Die Erwärmungsprüfung wird im Prototyp der WEA ENERCON E-138 EP3 durchgeführt. Der Testbericht für die Erwärmungsprüfung ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.1].

##### **Umrichter**

Die E-138 EP3 ist mit einem 4-Q-Umrichter, Bezeichnung B2B PC17034 [1.1.9] - [1.1.18], ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON konstruiert und gefertigt. Die E-138 EP3 wird insgesamt mit 12 Leistungsumrichterschränken ausgerüstet. Der B2B PC17034 wird gemäß den Anforderungen der IEC 62477-1 [2.10] entwickelt und getestet. Der Stator des Generators wird über einen dv/dt Filter und einen Trenner (Relais) angeschlossen. Der Gleichspannungszwischenkreis ist mit einem Bremschopper ausgestattet. Die Netzseite wird über eine Netzinduktivität und einem Netzfilter angeschlossen [1.1.9]. Der Umrichter wird flüssigkeitsgekühlt.

ENERCON hat bereits mehrere Prüfungen für den Umrichter durchgeführt [1.1.15] - [1.1.18]. Ein Typentestbericht entsprechend IEC 62477-1 und das Handbuch für den B2B PC17034 wurden noch nicht von ENERCON eingereicht. Beide Dokumente sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen. Des Weiteren ist der Zertifizierungsstelle ein Nachweis über die Erfüllung der EMV Anforderungen einzureichen [6.2].

Der Umrichter ist konform zur Europäischen Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU designed. Im Datenblatt [1.1.10] wird die IEC 62477-1 als angewandte Norm aufgeführt. Das CE Zeichen ist auf dem Typenschild [1.1.14] eingetragen. Die Konformitätserklärung für den Umrichter wurde der Zertifizierungsstelle nicht vorgelegt.

## **Pitch System**

Jedes Rotorblatt ist mit zwei DC Motoren ausgerüstet. Diese Motoren sind zum einen mechanisch gekoppelt und zum anderen auch elektrisch verbunden. Die Motoren werden über einen DC-Umrichter gesteuert. In besonderen Fällen können die Motoren direkt über die Notstromversorgung der Ultracapacitors versorgt werden. Die im Kapitel 4 aufgeführten Motoren werden entsprechend der IEC 60034-1 konstruiert und getestet [1.1.50] - [1.1.57].

## **Schleifring**

Die WEA E-138 EP3 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem ausgerüstet [1.1.39] - [1.1.42]. Der im Kapitel 4 aufgeführte Schleifring wird von ENERCON entsprechend den Umgebungsbedingungen im Hub ausgelegt. Im Schaltplan [1.1.70] sind die Verbindungen der Schleifringe korrekt dargestellt.

## **Azimutantrieb**

Die WEA E-138 EP3 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.43], [1.1.44]. Es werden Drei-Phasen-Asynchron-Motoren eingesetzt. Die im Kapitel 4 aufgeführten Motoren sind entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 ausgeführt und getestet. Eine Bremse und ein Temperaturfühler sind am Motor montiert [1.1.45] - [1.1.49].

## **Transformator**

Der Transformator ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. In den WEA E-138 EP3 werden flüssigkeitsgefüllte (synthetisches Ester) Transformatoren eingesetzt. Die Anforderungen, wie Schutz gegen Kurzschluss, Temperatur-, Druck- oder Füllstandsüberwachung werden in den ENERCON eigenen Spezifikation [1.1.103] beschrieben. Des Weiteren sind in [1.1.104] die erforderlichen Prüfungen und Test aufgeführt.

Die Transformatoren werden abhängig von den vorgefundenen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifischen Anpassungen der Transformatoren werden im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils exemplarisch und stellvertretend ein Transformator je Hersteller geprüft und aufgeführt. Die Transformatoren müssen wie oben beschrieben die ENERCON Anforderungen aber auch die relevanten Teile der IEC 60076 erfüllen [1.1.105], [1.1.109].

## **Mittelspannungsschaltanlage**

Die Mittelspannungsschaltanlage ist ebenfalls in dem E-Modul im Turmfuß installiert [1.1.110], [1.1.111]. Die Schaltanlage wird, wie schon oben bei den Transformatoren beschrieben, abhängig von den vorgefundenen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifische Anpassung der Schaltanlage wird im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils eine Schaltanlage je Hersteller exemplarisch und stellvertretend geprüft und aufgeführt. Die Schaltanlage muss zum einen die unter [1.1.110] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie auch die relevanten Teile der IEC 62271 [2.9] erfüllen [1.1.112] - [1.1.117].

## Schaltpläne

Die Schaltpläne [1.1.64] - [1.1.102] und zugehörigen Stücklisten wurden von uns stichprobenartig überprüft. Diese Überprüfung unter Berücksichtigung der Forderungen der IEC 60364 ergab keine Auffälligkeiten. So entsprechen z. B. die Dimensionierungen der Sicherungen den normativen Forderungen. Gegen die Installationen der Schutz- und Trenneinrichtungen gemäß den vorgelegten Schaltplänen haben wir keine Einwände.

Zusammenfassend erfüllen das elektrische System wie auch die elektrischen Komponenten die Anforderungen der IEC 61400-1.

### 5.3.2 Back-up Spannungsversorgungssystem

Jedes Blatt ist mit einem Back-up Spannungsversorgungssystem ausgerüstet. Diese Systeme bestehen jeweils aus vier in Serie geschalteten Kondensatormodulen (75 V, 94 F). Es können Kondensatoren der Firma Maxwell (BCAP3000) oder der Firma Nesscap (ESHSR-3000C0-002R7A8T1) eingesetzt werden. Beide Kondensatortypen können unter Kaltwetterbedingungen -40 °C bis 65 °C eingesetzt werden.

Die Kapazitätsberechnungen für den Anforderungsfall sind in [1.1.50] ausreichend aufgeführt.

Mit Hilfe des „capacitor voltage monitoring module“ wird die Spannung der Kondensatoren permanent überwacht. Die Ladung der Module erfolgt durch das im Blattregelschrank installierte „capacitor-charging module“.

Das Back-up Spannungsversorgungssystem erfüllt die Anforderungen der IEC 61400-1.

### 5.3.3 Elektrische Leiter

Die Auslegung der Turmkabelanlage ist in [1.1.60] beschrieben. Die Anzahl und Kabelquerschnitte wurden entsprechend den Nennströmen der E-138 EP3 und den Umgebungsbedingungen bestimmt.

Die Kabeldurchmesser und vorliegenden Kalkulationen sind nachvollziehbar und entsprechen den Anforderungen der IEC 61400-1.

### 5.3.4 Schutz- und Trenneinrichtungen

Die WEA ist mit Schutzgeräten zum Schutz der elektrischen Komponenten ausgestattet. Diese schützen die Turbine selbst sowie die externen elektrischen Systeme im Falle einer Fehlfunktion. Die WEA kann vom elektrischen Netz getrennt werden. Diese Netztrennung kann automatisch durchgeführt werden, z. B. bei einem Fehler, oder manuell, z. B. zu Wartungszwecken. Außerdem ist das elektrische System der WEA mit Überspannungsschutzgeräten ausgerüstet.

Bei der stichprobenhaften Prüfung der eingereichten Schaltpläne haben wir auch die Schutzgeräte geprüft. Die Prüfung hat keine Abweichungen von der IEC 60364 in Bezug auf die Schutz- und Trenneinrichtungen gezeigt.

### 5.3.5 Blitzschutz- und Erdungssystem

In der IEC 61400-1 [2.3] sind der Blitzschutz und das Erdungssystem in getrennten Kapiteln aufgeführt. In dieser Stellungnahme fassen wir beide Punkte zusammen, weil zum einen die Anforderungen auf den gleichen Normen basieren und zum anderen der Schutz gegen Blitzeinschläge und der Effekt der Blitzeinschläge als ein gemeinsames Problem zu betrachten sind.

Die IEC 61400-1 fordert ein Blitzschutzsystem entsprechend der IEC 62305 [2.7]. Außerdem ist für WEA die IEC 61400-24 [2.6] zu beachten.

Das Blitzschutzsystem der ENERCON WEA E-138 EP3 ist für den Gefährdungspegel LPL I ausgelegt [1.1.19]. Dies ist das höchstmögliche Schutzlevel. Die Festlegung der verschiedenen Blitzschutzzonen sowie auch der Potentialausgleich sind ebenfalls in diesem Dokument beschrieben.

Die Erdungsanlage der E-138 EP3 ist in [1.1.64] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.20] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in Zeichnung [1.1.21] dargestellt. Zur Erfüllung der Anforderungen an Erdungsanlagen sind insbesondere im Rahmen der DIBt neben den IEC-Anforderungen auch die Forderungen der DIN 50522 [2.14] sowie DIN 18014 [2.15] zur Planung und Ausführung von Erdungsanlagen zu berücksichtigen. Die Erdungsanlage muss projektspezifisch auf die vorhandenen Erdungsbedingungen angepasst werden.

Die E-138 EP3 wird mit E-138 EP3-RB-01 Rotorblättern des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Das Design des Blattes und des Blitzschutzsystems basiert auf anderen ENERCON Rotorblättern [1.1.22]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems wurde entsprechend den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV SÜD geprüft [1.1.23] und mit Hilfe des vergleichbaren Rotorblattes E-103 EP2-RB-01 nachgewiesen. Des Weiteren ist das Blitzschutzsystem des Blattes E-138 EP3-RB-01 in den Zeichnungen [1.1.24] - [1.1.38] dargestellt.

Die Anforderungen der IEC 61400-1 werden vom Blitzschutzsystem der WEA E-138 EP3 erfüllt.

### 5.3.6 Selbsterregung

Die E-138 EP3 ist mit einem direkt gekoppelten Synchrongenerator ausgestattet. Der Generator wird elektrisch erregt wodurch er sich nicht selbsterregen kann. Des Weiteren ist die WEA mit einem Vollumrichtersystem ausgerüstet, dessen Leistungsschalter ermöglichen die Trennung der Generatorverbindung. Daher sind die diesbezüglichen Anforderungen der Norm 61400-1 als erfüllt anzusehen.

### 5.3.7 Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit

Die Anforderungen an die WEA hinsichtlich der Emission von leitungsgebundenen Störungen und ihrer Immunität dagegen werden durch ein vorhandenes Erdungs- und Blitzschutzsystem und die Erfüllung der Anforderungen der IEC 62305 abgedeckt.

Die IEC 61400-1 fordert die Vermessung der Netzverträglichkeit der WEA gemäß den Forderungen der IEC 61400-21. Die Validierung der entsprechenden Ergebnisse ist zum Zeitpunkt der momentanen Prüfungen nicht möglich [6.3].

Messungen zu Netzverträglichkeit entsprechend der IEC 61400-21 und den relevanten EMV-Standards werden am Prototyp der E-138 EP3 durchgeführt. Die Messergebnisse sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.4].

### 5.3.8 Weitere Anmerkungen

Die E-138 EP3 kann auch als Kalt-Wetter-Ausführung (CCV) ausgerüstet werden. Die Anpassungen für diese Variante sind in [1.2.2] beschrieben.

Unsere Prüfungen hinsichtlich der Kalt-Wetter-Tauglichkeit entsprechend den ENERCON-Anforderungen ergaben keine Abweichungen.

## 5.4 Schnittstellen

Die Sicherheitskette ist in [1.1.101] korrekt beschrieben. Zusätzliche Sensoren sind in den Schaltplänen dargestellt.

## 6 Auflagen

- 6.1 Der Testbericht für die thermische Prüfung des Generators sollte der Zertifizierungsstelle vorgelegt werden.
- 6.2 Die Testberichte und das Handbuch für den Umrichter B2B PC17034 sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen. Des Weiteren ist ein Nachweis über die Erfüllung der EMV Anforderungen einzureichen.
- 6.3 Der Testbericht für die Prüfung der elektrischen Eigenschaften entsprechend IEC 61400-21 sollte der Zertifizierungsstelle vorgelegt werden.
- 6.4 Die Nachweise über die Einhaltung der EMV-Anforderungen ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen.

## 7 Schlussfolgerung

Wenn die im Kapitel 6 aufgeführten Auflagen berücksichtigt werden, entspricht das elektrische System der ENERCON E-138 EP3 den Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit auch die Anforderungen der DIBt.

Die Konformitätserklärung (CE) für die E-138 EP3 umfasst alle von ENERCON entwickelten und hergestellten elektrischen Komponenten.

Durch Modifikationen am elektrischen System, die nicht angezeigt werden, verliert diese Stellungnahme ihre Gültigkeit. Damit diese Stellungnahme gültig bleibt, sollten Änderungen der Zertifizierungsstelle Windenergie mitgeteilt und zur Prüfung vorgelegt werden.

Sachverständiger

A blue ink signature in cursive script, appearing to read "H. Grafe".

M. Sc. Holger Grafe

Freigabe

A blue ink signature in cursive script, appearing to read "R. Kotte".

Dr. Ralf Kotte



# Gutachtliche Stellungnahme

für die Windenergieanlage E-138 EP3

verschiedene Konfigurationen

## - Turmkopfflansch -

**TÜV NORD Bericht-Nr.:** 8115 022 604 - 11 D II Rev. 0

**Gegenstand der Stellungnahme:** a) Turmkopfflanschbaugruppe für die Windenergieanlage E-138 EP3 gemäß DIBt Richtlinie (Fassung Oktober 2012)  
b) Numerisch bestimmte Übertragungsfunktionen

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Die Gutachtliche Stellungnahme umfasst 8 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Prüfer
0	08.02.2019	Erstausgabe	C. Fischer

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	4
3	Einleitung .....	5
4	Beschreibung .....	5
4.1	Turmkopfflansch.....	5
4.2	Lastannahmen .....	5
4.3	Baustoffe .....	6
5	Prüfung .....	6
5.1	Umfang und Methodik .....	6
5.2	Anmerkungen zur Prüfung .....	6
6	Auflagen.....	7
7	Zusammenfassung .....	8

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Statische Berechnungen

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Schraubverbindungen des Azimutlagers Turmkopfflansch Statik und Betriebs-  
festigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 2,  
GK II“  
Dokument Nr.: D0713132-0, Rev. 0, Datum: 30.05.2018

#### Anlagen

- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“,  
Zeichnungs-Nr.: 115.03.003-1, Rev. 1, Datum: 20.02.2018

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Lastannahmen für statische Berechnungen des Kopfflansches

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
„ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Lastannahmen und Nachweisstra-  
ategie für maschinenbauliche Nachweise“  
Dokument Nr.: D0616840-4, Rev. 4, Datum: 18.04.2018

#### Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
"ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Lastannahmen für maschinenbauli-  
che Nachweise"  
Dokument Nr.: D0672479-0, Rev. 0, Datum 18.06.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht Maschinenbau E-138 EP3 Abdeckende Betriebs- und Extremlas-  
ten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01  
nach DIBt und IEC“  
Dokument Nr.: D0722965-2, Rev. 2, Datum: 28.01.2019

#### Lastvergleich

- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
„Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 Load com-  
par-ison for Statics and Fatigue Load loop 26++ Loads according to: DIBt 2012  
and IEC III“  
Dokument Nr.: D0786253-0, Rev. 0, Datum 29.01.2019

### Zeichnungen zum Turmkopf

- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
„Azimutlager Ø3347 Ø3059 m18 z195 x0.5 ”  
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.422-0, Rev. 0, Datum: 29.01.2018
- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
„Maschinenträger EP3-MC-04”  
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.444-3, Rev. 3, Datum: 17.04.2018

### Statische Berechnungen hinsichtlich Bruchzähigkeit

- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3  
Schraubverbindungen des Azimutlagers Turmkopfflansch Statik und Betriebs-  
festigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 3/4,  
GK I & II”,  
Dokument Nr.: D0664633-2, Rev. 2, Datum: 08.01.2019
- [1.2.8] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-126 EP3 verschie-  
dene Konfigurationen - Turmkopfflansch -”,  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604 - 11 D Rev. 2, Datum: 07.02.2019

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Fassung 10.2012):  
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnach-  
weise für Turm und Gründung“
- [2.2] DIN EN 1993-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-1/NA (08.2015):  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allge-  
meine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.3] DIN EN 1993-1-9 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-9/NA (12.2010):  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermü-  
dung“
- [2.4] 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“
- [2.5] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):  
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubverbindungen - Zy-  
lindrische Einschraubverbindungen“

### 3 Einleitung

Gegenstand dieser Stellungnahme ist die Prüfung der Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich struktureller Integrität im Sinne von [2.1] für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen.

Außerdem werden die technische Richtigkeit der durchgeführten Berechnungen, die daraus abgeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch und deren Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

### 4 Beschreibung

#### 4.1 Turmkopfflansch

Der Turmkopfflansch ist ein L-Flansch mit einem Innendurchmesser von 3148 mm an der anschließenden Turmwand und einem Außendurchmesser von 3557 mm. Die Gesamthöhe beträgt 281 mm. Der Flansch wird mit dem in [1.2.5] gezeigtem Azimutlager mittels 128 Schrauben M36 verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger wird durch 134 Schrauben M33 hergestellt.

Der Turmkopfflansch soll für die Windenergieanlagen E-126 EP3 und E-138 EP3 verwendet werden.

#### 4.2 Lastannahmen

Die Turmkopfflanschbaugruppe wurde für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Konfigurationen nachgewiesen. Die Auslegungslasten in [1.2.1] sind eine Zusammenfassung der für den Kopfflansch relevanten Lasten aus [1.2.2]. Diese Auslegungslasten ([1.2.2] und indirekt [1.2.1]) werden mit den einhüllenden Lasten ([1.2.3]) aller Konfiguration in [1.2.4] verglichen.

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3	81 m	3,5 MW	E-138 EP3-RB-01	2	II	[1.2.1], [1.2.3]	-
2		111 m			S	S		
3		131 m			2	II		
4		160 m			2	II		

Tabelle 4.1: Lastannahmen

Die Ermüdungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

## 4.3 Baustoffe

### Flansch

Kopfflansch: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (nahtlos geschmiedet) oder  
Stahl DIN EN 10025-3-S355NL + DIN EN 10164-Z25  
(abbrennstumpfstoßgeschweißt)  
 $R_{eH} = 265 \text{ MPa}$

### Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager

Schrauben: DIN 976-1 – M36 x 355 – 10.9 tZn  
maximale Vorspannkraft  $F_{M,max} = 581,4 \text{ kN}$   
(Drehmomentverfahren)  
Anziehungsfaktor  $\alpha_A = 1,5$

Scheiben: ISO 7089 - 36 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M36 - 10 tZn

### Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

Schrauben: DIN 976-1 - M33 x 380 - 10.9 tZn  
maximale Vorspannkraft  $F_{M,max} = 445,1 \text{ kN}$   
(Drehwinkelverfahren)  
Anziehungsfaktor  $\alpha_A = 1,0$

Scheiben: ISO 7089 - 33 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M33 - 10 tZn

## 5 Prüfung

### 5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustand der Tragfähigkeit) wurden in der eingereichten statischen Berechnung für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft. Der Flansch und die Schrauben zweier Verbindungen – Flansch mit Azimutlager und Azimutlager mit Maschinenträger – werden als eine Baugruppe betrachtet. Des Weiteren werden die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch (Radien und Schweißnaht zur Turmschale) auf ihre Richtigkeit und Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

### 5.2 Anmerkungen zur Prüfung

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

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

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden von ENERCON GmbH in [1.1.1] Übertragungsfunktionen hergeleitet. Der zugrunde liegende Aufbau des Turmkopfes kann [1.1.2], [1.2.5] und [1.2.6] entnommen werden. Für die Vergleichsrechnung wurde eine minimale Schraubenvorspannkraft von 387,6 kN für die Verbindung von Turmkopf und Azimutlager angenommen.

Der Sprödbruchnachweis gemäß DIN EN 1993-1-10 wird in [1.2.7] für die Windenergieanlage E-126 geführt und ist in [1.2.8] geprüft. Aufgrund der effektiven Flanschhalslänge und der gleichen Flanschgeometrie ist der Nachweis ebenfalls für die Anlage E-138 gültig.

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

## 6 Auflagen

- 6.1 Die Streckgrenze des für die Flansche verwendeten Materials muss mindestens dem in Kapitel 4.3 genannten Wert entsprechen. Die Verwendung eines Flansches, der abbrennstumpfstößgeschweißt wurde, ist an Standorten mit tiefen Temperaturen ( $\leq -40^{\circ}\text{C}$ ) nicht erlaubt.
- 6.2 Die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können in zukünftigen Nachweisen genutzt werden, wenn die Belastungen die zugrunde gelegten Lastannahmen nicht überschreiten und die Turmgeometrie nicht signifikant von der in [1.1.1] angenommenen abweicht. Insbesondere darf der Neigungswinkel der an den Turmkopfflansch anschließenden Turmwand den darin aufgeführten Wert nicht überschreiten.

## 7 Zusammenfassung

Die geprüften Dokumente unter 1.1 sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt. Die statischen Berechnungen wurden durch Vergleichsrechnung geprüft.

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Schnittstellen und Auflagen ist die geprüfte Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen geeignet. Für eine Typenprüfung mindestens einer Konfiguration müssen die gutachterlichen Stellungnahmen zu den Lasten der entsprechenden Nabhöhe und zu dem Lastvergleich ([1.2.4]), der Teil der maschinenbaulichen Prüfung ist, vorliegen.

Die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können zukünftigen Nachweisen zugrunde gelegt werden, wenn Auflage 6.2 erfüllt ist.

Diese gutachtliche Stellungnahme verliert ihre Gültigkeit mit konstruktiven Änderungen der Turmflanschkonstruktion.

Prüfer:



Dr.-Ing. C. Fischer

Freigegeben:



Dipl.-Ing. / IWE I. Jongschlager

An der Prüfung beteiligt:

Dr.-Ing. Ye Ou



# Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3

- Verkleidungen & Strukturen -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8116 092 817-12 D Rev. 0

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: ENERCON E-138 EP3  
Varianten: siehe Tab. 4.2  
Anlagenparameter: siehe Tab. 4.2

**Standortspezifikation:** Windzone: WZ 2  
Geländekategorie: GK I & II

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

**Prüfumfang:** Auslegungsanforderungen für Verkleidungen und  
Strukturen gem. DIN EN 61400-1:2011

**Auslegungslasten:** Geprüfte Lastannahmen

Dieser Prüfbericht umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	21.05.2019	Erstausgabe	M. Schiermann

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	5
1.3	Zugehörige Prüfberichte .....	5
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einleitung .....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	7
4.1	Anlagenkonzept .....	7
4.2	Umgebungsbedingungen .....	7
4.3	Geprüfte Verkleidungen und Strukturen .....	7
4.3.1	Gondelverkleidung .....	7
4.3.2	Generatorverkleidung .....	8
4.3.3	Spinnerverkleidung .....	8
4.3.4	Gondelbühne .....	8
4.3.5	Dachmodul .....	8
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen .....	9
5	Durchgeführte Prüfungen .....	9
5.1	Prüfmethoden .....	9
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen .....	9
5.3	Hinweise und Annahmen .....	10
5.4	Prüfergebnis .....	10
6	Bedingungen .....	10
7	Schlussfolgerungen .....	11

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Gondelverkleidung

- [1.1.1] Nachweis zur Zertifizierung - ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Maschinenhausverkleidung Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0722397-0  
Rev. 0, vom 30.07.2018

#### Generatorverkleidung

- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3,  
Generatorverkleidung, Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0696076-0  
Rev. 0, vom 17.04.2018
- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3,  
Generatorverkleidung Statischer Nachweis durch Vergleich mit der E-126 EP3  
Dokument Nr.: D0713491-1  
Rev. 1, vom 14.12.2018

#### Spinnerverkleidung

- [1.1.4] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3,  
Spinnerverkleidung, Statik  
Dokument Nr.: D0697829-1  
Rev. 1, vom 01.06.2018
- [1.1.5] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3,  
Spinnerverkleidung, Anhang A: Schraubendaten  
Dokument Nr.: D0709582-1  
Rev. 1, vom 05.06.2018
- [1.1.6] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3,  
Generator- und Spinnerverkleidung, Stellungnahme zu GFK-Materialdaten,  
QuadraX Versuchsergebnisse aus Mai 2018  
Dokument Nr.: D0716825-0  
Rev. 0, vom 21.06.2018

### Gondelbühne

- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 -  
Gondelbühne Statik  
Dokument Nr.: D0728433-1a  
Rev. 1a, vom 17.05.2019

### Anschlagpunkte

- [1.1.8] ENERCON GmbH  
Nachweis zur Zertifizierung, Enercon Windenergieanlage E-138 EP3  
Anschlagpunkte Gondelbühne Statik  
Dokument Nr.: D0741987-0  
Rev. 0, vom 23.08.2018
- [1.1.9] ENERCON GmbH  
Nachweis zur Zertifizierung, Enercon Windenergieanlage E-126 EP3,  
Anschlagpunkte Dachmodul  
Dokument Nr.: D0693228-1  
Rev. 1, vom 21.08.2018

### Dachmodul

- [1.1.10] ENERCON GmbH  
Nachweis zur Zertifizierung, Enercon Windenergieanlage E-126 EP3,  
Dachmodul  
Dokument Nr.: D0713625-0  
Rev. 0, vom 12.06.2018

### Materialspezifikation

- [1.1.11] ENERCON GmbH:  
Spezifikation für glasfaserverstärkte Verkleidungen von ENERCON WEA  
Dokument Nr.: D0687898-0b  
Rev. 0b, vom 12.04.2018
- [1.1.12] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Materialdaten für GFK Verkleidungskomponenten Rev.2  
Dokument Nr.: D0689349-2  
Rev. 2, vom 13.06.2018

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Konstruktionsbasis

[1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0556048-5  
Rev. 5, vom 26.03.2018

[1.2.2] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen"  
Document-ID: D0666243-3  
Rev. 3, vom 30.07.2018

## **1.3 Zugehörige Prüfberichte**

[1.3.1] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:  
Evaluation Report - Wind Turbines ENERCON E-126 EP3, E-138 EP3, IEC  
61400-22 - Design Basis -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-0 E  
Rev. 0, vom 28.03.2018

[1.3.2] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:  
Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines,  
IEC 61400-22 - Design Basis for Cold Climate conditions -  
Report No.: 8115 599 054-0E  
Rev. 0, vom 09.08.2018

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):  
Richtlinie für Windenergieanlagen  
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung  
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011  
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen  
(IEC 61400-1:2005 + A1:2010)  
Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010
- [2.3] DIN EN 61400-22:2011  
Windenergieanlagen - Teil 22:  
Konformitätsprüfung und Zertifizierung (IEC 61400-22:2010)  
Deutsche Fassung EN 61400-22:2011
- [2.4] Germanischer Lloyd GL-IV-1:  
Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen  
Ausgabe 2010
- [2.5] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.:  
Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion,  
Betrieb und Wartung  
Deutsche Fassung EN 50308:2004 + DIN EN 50308 Berichtigung 1:2008  
alt. VDE 0127-100 + VDE 0127-100 Berichtigung:2011

## **3 Einleitung**

Die in diesem Prüfbericht unter Abschnitt 4.3 gelisteten Verkleidungen und Strukturen wurden hinsichtlich ihrer Anforderungen an Auslegung und Gebrauchstauglichkeit für die Verwendung in Windenergieanlagen geprüft.

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Anlagenkonzept

Die technische Spezifikation der Windenergieanlage ist dem Dokument [1.2.1] zu entnehmen. Prüfergebnisse und Anmerkungen zur Spezifikation sind im Bericht [1.3.1] dokumentiert.

### 4.2 Umgebungsbedingungen

Die Verkleidungen und Strukturen wurden für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Kalklima	$-40\text{ °C} < t < +40\text{ °C}$	$-40\text{ °C} < t < +50\text{ °C}$

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

### 4.3 Geprüfte Verkleidungen und Strukturen

Für alle unten aufgeführten Verkleidungen und Strukturen wurden Festigkeitsprüfungen auf der Grundlage der Auslegungslasten durchgeführt. Für den Nachweis der Komponenten wurden Spezifikationen, Auslegungsberechnungen, Datenblätter, Testberichte und Bauteilzeichnungen geprüft.

In der jeweiligen Komponentenspezifikation wird die zugehörige bauteilspezifische Hauptzeichnung zur Identifikation einer Komponente aufgeführt.

#### 4.3.1 Gondelverkleidung

##### 4.3.1.1

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	GFK-Struktur
Material:	siehe Spezifikationen [1.1.12]
Hauptzeichnung Nr.:	D0731954-1, Rev. 1, vom 28.11.2018
	Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]
Extremwindgeschw. $v_{e50}$ :	54,54 m/s
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.2 Generatorverkleidung

#### 4.3.2.1

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	GFK-Struktur
Material:	siehe Spezifikation [1.1.12]
Hauptzeichnung Nr.:	D0731954-1, Rev. 1, vom 28.11.2018 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.3]
Extremwindgeschw. $v_{e50}$ :	54,54 m/s
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindungen zum Generatorrotor und Generatorstator
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.3 Spinnerverkleidung

#### 4.3.3.1

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	GFK-Struktur
Material:	siehe Spezifikation [1.1.12]
Hauptzeichnung Nr.:	D0731954-1, Rev. 1, vom 28.11.2018 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]
Extremwindgeschw. $v_{e50}$ :	62,68 m/s
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindung zur Rotornabe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.4 Gondelbühne

#### 4.3.4.1

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR / S355JR
Hauptzeichnung Nr.:	D0733038-0, Rev. 0, vom 16.08.2018 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.7]
Detail-Zchg Anschlagpkt.	EP3.03.536-0, Rev. 0, vom 09.03.2018 EP3.03.875-0, Rev. 0, vom 14.05.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.5 Dachmodul

#### 4.3.5.1

Design:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S355J2
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.03.620-2, Rev. 2, vom 27.07.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)



#### 4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

Die Eignung der Verkleidungen und Strukturen wurde für die in Tabelle 4.2 gelisteten Windenergieanlagen geprüft. Hierfür wurden die vom Hersteller ENERCON GmbH eingereichten Prüfunterlagen zugrunde gelegt. Für die dort aufgeführten Anlagenkonfigurationen liegen geprüfte Lastannahmen vor, die im Detail den Dokumenten unter Punkt 1.3 zu entnehmen sind.

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	DIBt 2012 Windzone	Geländekategorie
1	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02)	WZ 2	GK II
2	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	109.97 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01)	WZ 2	GK II
3	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01)	WZ 2	GK II
4	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	80.42 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01)	WZ 2	GK II
5	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	130.08 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-01)	WZ 2	GK II

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

## 5 Durchgeführte Prüfungen

### 5.1 Prüfmethoden

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Inhalt geprüft und bezüglich der Nachweismethoden und der Berechnungsgrundlagen bewertet. Dabei wurden die erforderlichen Sicherheiten und Spannungsreserven berücksichtigt. Die Prüfung erfolgte anhand von Spezifikationen, Berechnungsunterlagen und Zeichnungen, sowie zugehörigen Prüfberichten.

Die Beurteilung der statischen Auslegung der Verkleidungen und Strukturen basiert auf den Anforderungen der Prüfgrundlagen. Die vorgelegten Prüfunterlagen wurden auf der Grundlage von Plausibilitätsprüfungen oder Vergleichsrechnungen unter Anwendung von analytischen oder numerischen Berechnungsmethoden bewertet.

### 5.2 Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen

Bei Finite Elemente Berechnungen wurden Geometrie, Vernetzung, Elementauswahl und Randbedingungen geprüft. Die Bewertung der FE-Ergebnisse erfolgte über Vergleichsrechnungen oder Plausibilitätsprüfungen.

Die Festigkeit hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurden auf Grundlage von Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005) geprüft. Dabei wurden die unterschiedlichen Versagensarten für die maßgeblichen Verbindungen gemäß Tabelle 3.4 berücksichtigt. Die Lasten der maßgeblichen Verbindungen bestimmten sich dabei aus den zugehörigen Finite-Elemente-Analysen.

Die Tragfähigkeit der Verkleidungen wurde auf der Grundlage der GL-Richtlinie für Windenergieanlagen, Ausgabe 2010, geprüft. Hierbei wurden die Einwirkungen auf die Struktur sowie die Materialkennwerte für faserverstärkte Kunststoffe (FVK) berücksichtigt.

Die Lastannahmen für die Strukturnachweise von Gondel-, Generator- und Spinnerkleidung wurden für ständige und veränderliche Einwirkung gemäß den geltenden Richtlinien überprüft. Die speziellen Materialeigenschaften für GFK wurden dabei gesondert berücksichtigt. Der Prüfumfang beinhaltet zudem alle relevanten Befestigungen zu den primären Strukturbauteilen sowie zu Anbauten und Anschlagpunkten.

### **5.3 Hinweise und Annahmen**

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für maschinenbauliche Komponenten und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

### **5.4 Prüfergebnis**

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei Extremlasten vorhanden sind.

## **6 Bedingungen**

- 6.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- 6.2 Die in [1.1.11] angegebenen Lagendicken für GFK sollen nach der Materialspezifikation [1.1.12] neu angepasst werden.
- 6.3 Für jede Art von Hebezeugen und integrierten Kränen gelten die nationalen Anforderungen der jeweiligen Maschinenrichtlinie unter Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschrift (DGUV).

## 7 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieses Gutachtens geprüften maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen erfüllen die Anforderungen der Prüfgrundlagen in Bezug auf Tragfähigkeit und Auslegung für die zugrunde gelegten Annahmen.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

Die unter Punkt 5.3 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Berücksichtigung der unter Punkt 6 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit

Der Sachverständige:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. Schiermann".

M.Eng. M. Schiermann

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ch. Neuhaus".

Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

**An der Prüfung beteiligte Sachverständige:**

Dr.-Ing. Y. Ou