

# **Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen**

## **ENERCON**

**E-138 EP3-HT-160-ES-C-01  
E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01**

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

**Rev. 3**

<b>1 Prüfbescheid E-138 EP3</b>	<b>3166558-11-d Rev.3 vom 27.04.2020</b>
<b>2 Prüfbescheid E-138 EP3 E2</b>	<b>3166558-1-d Rev.3 vom 27.04.2020</b>
<b>3 Hybridturm</b>	<b>3119511-1-d Rev.4 vom 20.03.2020</b>
<b>3.1 Übersichtsplan Gesamtturm</b>	<b>D0867756-4</b>
<b>3.2 Bewehrung Rohteile</b>	<b>D0867761-1</b>
<b>3.3 Schalplan 1</b>	<b>D0867762-0</b>
<b>3.4 Schalplan 2</b>	<b>D0867763-0</b>
<b>3.5 Bewehrung Übergangsstück</b>	<b>D0867764-1</b>
<b>3.6 Schalplan Übergangsstück</b>	<b>D0867760-2</b>
<b>3.7 Schalplan Rohrteile</b>	<b>D0867765-1</b>
<b>3.8 Übersicht Stahlturm</b>	<b>D0867759-3</b>
<b>3.9 Montageplan</b>	<b>D0918251-0</b>
<b>4 Flachgründung mit und ohne Auftrieb ohne Spannraum <math>\varnothing</math> 22,50</b>	<b>3119511-2-d Rev.4 vom 27.04.2020</b>
<b>4.1 Fundamentdatenblatt</b>	<b>D0858723-2</b>
<b>4.2 Schalplan</b>	<b>D0867757-1</b>
<b>4.3 Bewehrungsplan</b>	<b>D0867758-3</b>

**5 Flachgründung mit und ohne Auftrieb mit Spannraum  $\varnothing$  22,50  
3119511-3-d Rev.3 vom 27.04.2020**

<b>5.1</b>	<b>Fundamentdatenblatt</b>	<b>D0889738-1</b>
<b>5.2</b>	<b>Schalplan</b>	<b>D0886116-1</b>
<b>5.3</b>	<b>Bewehrung Fundament RT 1.0</b>	<b>D0886117-4</b>
<b>5.4</b>	<b>Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser</b>	<b>D0886118-2</b>

**6 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen  
8117 568 225 D Rev. 1 vom 16.04.2020**

<b>6.1</b>	<b>Lastannahmen für Turm und Fundament 131m</b>	<b>8115 022 604-1 D I Rev. 3</b>
<b>6.2</b>	<b>Lastannahmen für Turm und Fundament 111m</b>	<b>8115 022 604-1 D II Rev. 2</b>
<b>6.3</b>	<b>Lastannahmen für Turm und Fundament 131m</b>	<b>8115 920 151-1 D III Rev. 2</b>
<b>6.4</b>	<b>Lastannahmen für Turm und Fundament 131m</b>	<b>8115 920 151-1 D V Rev. 2</b>
<b>6.5</b>	<b>Lastannahmen für Turm und Fundament 81m</b>	<b>8115 920 151-1 D VI Rev. 2</b>
<b>6.6</b>	<b>Lastannahmen für Turm und Fundament 160m</b>	<b>8115 920 151-1 D VII Rev. 0</b>
<b>6.7</b>	<b>Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau</b>	<b>8115 920 151-1 D IV Rev. 5</b>
<b>6.8</b>	<b>Sicherheitssystem und Handbücher</b>	<b>8115 022 604-2 D Rev. 1</b>
<b>6.9</b>	<b>Elektrische Komponenten und Blitzschutz</b>	<b>8115 022 604 -5 D Rev. 1</b>
<b>6.10</b>	<b>Rotorblatt</b>	<b>8115 022 604-3 D Rev. 3</b>

<b>6.11 Maschinenbauliche Komponenten</b>	<b>8116 092 817-4 D Rev. 2</b>
<b>6.12 Verkleidung und Strukturen</b>	<b>8116 092 817-12 D Rev. 3</b>
<b>7 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen</b>	<b>8117 142 915 D Rev. 1 vom 16.04.2020</b>
<b>7.1 Lastannahmen für Turm und Fundament 111m</b>	<b>8117 142 915-1 D I Rev. 0</b>
<b>7.2 Lastannahmen für Turm und Fundament 149m</b>	<b>8117 142 915-1 D II Rev. 1</b>
<b>7.3 Lastannahmen für Turm und Fundament 131m</b>	<b>8117 142 915-1 D III Rev. 0</b>
<b>7.4 Lastannahmen für Turm und Fundament 131m</b>	<b>8117 142 915-1 D IV Rev. 0</b>
<b>7.5 Lastannahmen für Turm und Fundament 160m</b>	<b>8117 142 915-1 D V Rev. 2</b>
<b>7.6 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau</b>	<b>8117 142 915-1 D VI Rev. 1</b>
<b>7.7 Sicherheitssystem und Handbücher</b>	<b>8117 142 915-2 D Rev. 1</b>
<b>7.8 Elektrische Komponenten und Blitzschutz</b>	<b>8117 142 915-5 D Rev. 1</b>
<b>7.9 Rotorblatt</b>	<b>8117 142 915-3 D Rev. 1</b>
<b>7.10 Maschinenbauliche Komponenten</b>	<b>8117 142 915-4 D Rev. 1</b>
<b>7.11 Verkleidung und Strukturen</b>	<b>8116 503 696-12 D Rev. 1</b>

## 8 Revisionstabelle

Datum	Änderung
26.09.2019 Rev. 0	Dokument erstellt <b>1 Hybridturm 3119511-1-d Rev.1 vom 19.09.2019</b> 1.1 Übersichtsplan Gesamtturm D0867756-0 1.2 Bewehrung Rohteile D0867761-0 1.3 Schalplan D0867762-0 1.4 Schalplan D0867763-0 1.5 Bewehrung Übergangsstück D0867764-0 1.6 Übersicht Stahlturm D0867759-02 <b>2 Flachgründung mit Auftrieb I 22,50 3119511-2-d vom 13.09.2019</b> 2.3 Fundamentdatenblatt D0858723-2 Rev. 2 2.1 Schalplan D0867757-0 2.2 Bewehrungsplan 1 D0867758-0 <b>3 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen</b> 3.1 Lastannahmen für Turm und Fundament 8115920151-1 D VII Rev.0 3.2 Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D V Rev.0 3.3 Sicherheitssystem und Handbücher 8115022604- 2 D Rev.0 vom 09.09.2019 3.4 Rotorblatt 8115022604- 3 D Rev.1 vom 13.09.2019 3.5 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8115022604- 5 D Rev.0 vom 06.09.2019 3.6 Turmkopfflansch 8115022604- 11 D II Rev.0 vom 08.02.2019
11.12.2019 Rev. 1	<b>1 Hybridturm 3119511-1-d Rev.2 vom 29.11.2019</b> Übersichtsplan Gesamtturm D0867756-2 Bewehrung Rohteile D0867761-1 Bewehrung Übergangsstück D0867764-1 Übersicht Stahlturm D0867759-1 <b>2 Flachgründung mit Auftrieb Ø 22,50 m 3119511-2-d Rev. 1 vom 29.11.2019</b> <b>3 Flachgründung RT mit Spannraum mit und ohne Auftrieb Ø 22,50 m 3119511-3-d vom 29.11.2019</b> Fundamentdatenblatt D0889738-1 Schalplan D0886116-0 Bewehrung Fundament RT 1.0 D0886117-0 Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser D0886118-0 <b>4 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen</b> <b>5 Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen 8117142915 D Rev. 2 vom 28.11.2019</b> Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D I Rev.0 Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D II Rev.0 Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D III Rev.0 Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D IV Rev.0 Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D V Rev.0 Lastannahmen für Turm und Fundament 8117142915-1 D VI Rev.0 Sicherheitssystem und Handbücher 81171472915-2 D Rev.0 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8117142915-5 D Rev.0 Rotorblatt 8117142915-3 D Rev.0 Maschinenbauliche Komponenten 8117142915-4 D Rev.0 Verkleidungen & Strukturen 8116503696-12 D Rev. 0

06.03.2020 Rev. 2	1	<b>Prüfbescheid E-138 EP3</b>	3166558-11-d Rev.1	vom 21.01.2020
	2	<b>Prüfbescheid E-138 EP3 E2</b>	3166558-1-d Rev.1	vom 21.01.2020
	3	<b>Hybridturm</b>	3119511-1-d Rev.3	vom 21.01.2020
	3.1	Übersichtsplan Gesamtturm	D0867756-2	
	3.2	Bewehrung Rohteile	D0867761-1	
	3.3	Schalplan 1	D0867762-0	
	3.4	Schalplan 2	D0867763-0	
	3.5	Bewehrung Übergangsstück	D0867764-1	
	3.6	Übersicht Stahlturm	D0867759-1	
	4	<b>Flachgründung mit und ohne Auftrieb ohne Spannraum II 22,50</b>	3119511-2-d Rev.2	vom 21.01.2020
	4.1	Fundamentdatenblatt	D0858723-2	
	4.2	Schalplan	D0867757-0	
	4.3	Bewehrungsplan 1	D0867758-0	
	5	<b>Flachgründung mit und ohne Auftrieb mit Spannraum II 22,50</b>	3119511-3-d Rev.1	vom 21.01.2020
	5.1	Fundamentdatenblatt	D0889738-1	
	5.2	Schalplan	D0886116-0	
	5.3	Bewehrung Fundament RT 1.0	D0886117-0	
	5.4	Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser	D0886118-0	
	6	<b>Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen</b>	8117 568 225 D Rev. 0	vom 13.12.2019
	6.1	Lastannahmen für Turm und Fundament	8115 022 604-1 D I Rev. 3	
	6.2	Lastannahmen für Turm und Fundament	8115 022 604-1 D II Rev. 2	
6.3	Lastannahmen für Turm und Fundament	8115 920 151-1 D III Rev. 2		
6.4	Lastannahmen für Turm und Fundament	8115 920 151-1 D V Rev. 2		
6.5	Lastannahmen für Turm und Fundament	8115 920 151-1 D VI Rev. 1		
6.6	Lastannahmen für Turm und Fundament	8115 920 151-1 D VII Rev. 0		
6.7	Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau	8115 920 151-1 D IV Rev. 4		
6.8	Sicherheitssystem und Handbücher	8115 022 604-2 D Rev. 0		
6.9	Elektrische Komponenten und Blitzschutz	8115 022 604 -5 D Rev. 0		
6.10	Rotorblatt	8115 022 604-3 D Rev. 2		
6.11	Maschinenbauliche Komponenten	8116 092 817-4 D Rev. 1		
6.12	Verkleidung und Strukturen	8116 092 817-12 D Rev. 2		
7	<b>Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen</b>	8117 142 915 D Rev. 0	vom 28.11.2019	
7.1	Lastannahmen für Turm und Fundament 111m	8117 142 915-1 D I Rev. 0		
7.2	Lastannahmen für Turm und Fundament 149m	8117 142 915-1 D II Rev. 0		
7.3	Lastannahmen für Turm und Fundament 131m	8117 142 915-1 D III Rev. 0		
7.4	Lastannahmen für Turm und Fundament 131m	8117 142 915-1 D IV Rev. 0		
7.5	Lastannahmen für Turm und Fundament 160m	8117 142 915-1 D V Rev. 0		
7.6	Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau	8117 142 915-1 D VI Rev. 0		
7.7	Sicherheitssystem und Handbücher	8117 142 915-2 D Rev. 0		
7.8	Elektrische Komponenten und Blitzschutz	8117 142 915-5 D Rev. 0		
7.9	Rotorblatt	8117 142 915-3 D Rev. 0		
7.10	Maschinenbauliche Komponenten	8117 142 915-4 D Rev. 0		
7.11	Verkleidung und Strukturen	8116 503 696-12 D Rev. 0		

07.05.2020 Rev.3	<b>1 Prüfbescheid E-138 EP3</b> 3166558-11-d Rev.3 vom 27.04.2020 <b>2 Prüfbescheid E-138 EP3 E2</b> 3166558-1-d Rev.3 vom 27.04.2020 <b>3 Hybridturm</b> 3119511-1-d Rev.4 vom 20.03.2020 Schalplan Rohrteile D0867765-1 Übersicht Stahlurm D0867759-3 Montageplan D0918251-0 <b>4 Flachgründung mit und ohne Auftrieb ohne Spannraum Ø 22,50</b> 3119511-2-d Rev.4 vom 27.04.2020 Schalplan D0867757-1 Bewehrungsplan D0867758-3 <b>5 Flachgründung mit und ohne Auftrieb ohne Spannraum Ø 22,50</b> 3119511-3-d Rev.3 vom 27.04.2020 Schalplan D0886116-1 Bewehrung Fundament RT 1.0 D0886117-4 Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser D0886118-2 <b>6 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen 8117 568 225 D Rev. 1 vom 16.04.2020</b> Lastannahmen für Turm und Fundament 81m 8115 920 151-1 D VI Rev. 2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8115 920 151-1 D IV Rev. 5 Sicherheitssystem und Handbücher 8115 022 604-2 D Rev. 1 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8115 022 604 -5 D Rev. 1 Rotorblatt 8115 022 604-3 D Rev. 3 Maschinenbauliche Komponenten 8116 092 817-4 D Rev. 2 Verkleidung und Strukturen 8116 092 817-12 D Rev. 3 <b>7 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen 8117 142 915 D Rev. 1 vom 16.04.2020</b> Lastannahmen für Turm und Fundament 149m 8117 142 915-1 D II Rev. 1 Lastannahmen für Turm und Fundament 160m 8117 142 915-1 D V Rev. 2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8117 142 915-1 D VI Rev. 1 Sicherheitssystem und Handbücher 8117 142 915-2 D Rev. 1 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8117 142 915-5 D Rev. 1 Rotorblatt 8117 142 915-3 D Rev. 1 Maschinenbauliche Komponenten 8117 142 915-4 D Rev. 1 Verkleidung und Strukturen 8116 503 696-12 D Rev. 1
------------------	---



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 27.04.2020

**Prüfnummer:** 3166558-11-d Rev. 3

**Objekt:** **Turm und Fundamente E-138 EP3**  
Hybridturm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01(Bögl E20)  
Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3  
Rotorblatt Typ E-138 EP3-RB-01  
Nabenhöhe 160 m  
Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Hersteller und  
Konstruktion Turm  
und Fundament:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich

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

**Gültig bis:** 18.12.2024

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:  
3166558-11-  
d\_Rev.3\_ENERCON\_E-138  
EP3\_Bögl E20 Turm\_TPB.docx

Das Dokument besteht aus  
7 Seiten.  
Seite 1 von 7

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Revision	Datum	Änderungen
0	19.12.2019	Erstfassung
1	21.01.2020	Neue Revision Dokumente [1] bis [3].
2	24.04.2020	Neue Revision Dokumente [1] bis [3] und [5]. Redaktionelle Änderungen
3	27.04.2020	Neue Revision Dokument [2] und [3].

### Inhaltsverzeichnis

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



## **1. Allgemeine Bestimmungen**

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

Die Typenprüfung bestätigt die Prüfung der Standsicherheit der gelisteten Türme und Gründungen.

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

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

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

## **2. Anlagenbeschreibung**

Die hier behandelte Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-138 EP3 mit 160 m Nabenhöhe besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor mit einer getriebelosen Generatoreinheit.

Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und variabler Rotordrehzahl geregelt.

Umgebungsbedingungen und Daten der Maschine gemäß Herstellerangaben:

Nennleistung	3,5 MW
Windzone	2
Geländekategorie	II
Nabenhöhe	160 m
Rotordurchmesser nominell	138,59 m
Rotordurchmesser (inkl. Vorbiegung und Konuswinkel)	138,25 m
Rotorblatttyp	E-138 EP3-RB-01
Rotordrehzahlbereich (Produktionsbetrieb)	4,4 – 12,42 U/min
Nennwindgeschwindigkeit, $V_r$ (1 Sekunden Mittelwert)	11,1 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	28 m/s
Einschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	2 m/s
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (1 Jahres Mittelwert)	7,71 m/s
Extremer 50-Jahres-Wind, $V_{ref}$ (10 Minuten Mittelwert)	38,96 m/s
Lebensdauer*	25 Jahre

\* Tausch von Komponenten des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems nach 20 Jahren erforderlich

Tabelle 1



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

Nabenhöhe	160 m
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]
Fundamente	Flachgründung RT 2.0 ohne Spannraum mit und ohne Auftrieb [2]
	Flachgründung RT 1.0 mit Spannraum mit und ohne Auftrieb [3]

Tabelle 2

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

### **3. Prüfgrundlage**

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Version 2012, korrigierte Fassung März 2015
- /2/ DIN EN 61400-1:2011 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- /3/ IEC 61400-1:2005 „Wind turbines – Part 1: Design requirements“
- /4/ Änderungen 1 (2010) zur Norm IEC 61400-1:2005 „Wind Turbines – Part 1: Design requirements“

Nach den Anerkennungsnotizen im Vorwort von /2/ entspricht die Norm /2/ inhaltlich /3/ und /4/. Entsprechend kann in den in Abschnitt 5 gelisteten Gutachterlichen Stellungnahmen gleichwertig /2/ oder /3/ in Kombination mit /4/ als Prüfgrundlage verwendet werden.

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

### **4. Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung**

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

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

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

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



- [1] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 und E138-EP3 E2, 160 m Nabenhöhe, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten,  
Dokument Nr.: 3119511-1-d, Rev. 4, Datum 2020-03-20
- [2] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Fundament: Flachgründung RT 2.0 ohne Spannraum mit und ohne Auftrieb,  $\varnothing = 22,50$  m, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten,  
Dokument Nr.: 3119511-2-d, Rev. 4, Datum 2020-04-27
- [3] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Fundament: Flachgründung RT 1.0 mit Spannraum mit und ohne Auftrieb,  $\varnothing = 22,50$  m, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten,  
Dokument Nr.: 3119511-3-d, Rev. 3, Datum 2020-04-27

## **5. Gutachtliche Stellungnahmen**

Die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen gemäß /1/ Abs. 3.I. wurden im Rahmen dieser Typenprüfung vorgelegt:

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

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [4] „Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -“ erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten,  
Dokument Nr. 8115920151-1 D VII, Rev. 0, Datum 2019-08-22

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

- [5] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 5 Seiten,  
Dokument Nr. 8117 568 225 D, Rev. 1, Datum 2020-04-16

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

Die gutachtliche Stellungnahme [5] beinhaltet die Bestätigung des statischen Tests des Rotorblatts.



## **6. Zusammenfassung**

Die eingereichten Gutachtlichen Stellungnahmen und Prüfberichte für den Turm und die zugehörigen Gründungen der Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-138 EP3 entsprechen den Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/.

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

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

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



**Anlage 1:**

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

[1]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 18
[2]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 11
[3]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 11
[4]	Kapitel 6, Auflagen 6.1 bis 6.3
[5]	Alle in den in [5] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Prüfbemerkungen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.





Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 27.04.2020

**Prüfnummer:** 3166558-1-d Rev. 3

**Objekt:** **Turm und Fundamente E-138 EP3 E2**  
Hybridturm E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01(Bögl E20)  
Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E2  
Rotorblatt Typ E-138 EP3-RB-02  
Nabenhöhe 160 m  
Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Hersteller und  
Konstruktion Turm  
und Fundament:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich

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

**Gültig bis:** 12.09.2024

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:  
3166558-1-  
d\_Rev.3\_ENERCON\_E-138 EP3  
E2\_Bögl E20 Turm\_TPB.docx

Das Dokument besteht aus  
7 Seiten.  
Seite 1 von 7

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Revision	Datum	Änderungen
0	12.12.2019	Erstfassung
1	21.01.2020	Neue Revision Dokumente [1] bis [4].
2	24.04.2020	Neue Revision Dokumente [1] bis [3] und [5]. Redaktionelle Änderungen
3	27.04.2020	Neue Revision Dokumente [2] und [3].

### **Inhaltsverzeichnis**

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



## **1. Allgemeine Bestimmungen**

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

Die Typenprüfung bestätigt die Prüfung der Standsicherheit der gelisteten Türme und Gründungen.

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

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

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

## **2. Anlagenbeschreibung**

Die hier behandelte Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-138 EP3 E2 mit 160 m Nabenhöhe besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor mit einer getriebelosen Generatoreinheit.

Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und variabler Rotordrehzahl geregelt.

Umgebungsbedingungen und Daten der Maschine gemäß Herstellerangaben:

Nennleistung	4,2 MW
Windzone	2
Geländekategorie	II
Nabenhöhe	160 m
Rotordurchmesser nominell	138,59 m
Rotordurchmesser (inkl. Vorbiegung und Konuswinkel)	138,25 m
Rotorblatttyp	E-138 EP3-RB-02
Rotordrehzahlbereich (Produktionsbetrieb)	4,4 – 13,875 U/min
Nennwindgeschwindigkeit, $V_r$ (1 Sekunden Mittelwert)	12,1 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	28 m/s
Einschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	2 m/s
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (1 Jahres Mittelwert)	7,71 m/s
Extremer 50-Jahres-Wind, $V_{ref}$ (10 Minuten Mittelwert)	38,96 m/s
Lebensdauer*	25 Jahre

\* Tausch von Komponenten des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems nach 20 Jahren erforderlich

Tabelle 1



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

Nabenhöhe	160 m
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]
Fundamente	Flachgründung RT 2.0 ohne Spannraum mit und ohne Auftrieb [2]
	Flachgründung RT 1.0 mit Spannraum mit und ohne Auftrieb [3]

Tabelle 2

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

### **3. Prüfgrundlage**

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Version 2012, korrigierte Fassung März 2015
- /2/ DIN EN 61400-1:2011 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- /3/ IEC 61400-1:2005 „Wind turbines – Part 1: Design requirements“
- /4/ Änderungen 1 (2010) zur Norm IEC 61400-1:2005 „Wind Turbines – Part 1: Design requirements“

Nach den Anerkennungsnotizen im Vorwort von /2/ entspricht die Norm /2/ inhaltlich /3/ und /4/. Entsprechend kann in den in Abschnitt 5 gelisteten Gutachterlichen Stellungnahmen gleichwertig /2/ oder /3/ in Kombination mit /4/ als Prüfgrundlage verwendet werden.

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

### **4. Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung**

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

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

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

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



- [1] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 und E138-EP3 E2, 160 m Nabenhöhe, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten, Dokument Nr.: 3119511-1-d, Rev. 4, Datum 2020-03-20
- [2] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Fundament: Flachgründung RT 2.0 ohne Spannraum mit und ohne Auftrieb,  $\varnothing = 22,50$  m, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten, Dokument Nr.: 3119511-2-d, Rev. 4, Datum 2020-04-27
- [3] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Fundament: Flachgründung RT 1.0 mit Spannraum mit und ohne Auftrieb,  $\varnothing = 22,50$  m, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten, Dokument Nr.: 3119511-3-d, Rev. 3, Datum 2020-04-27

## **5. Gutachtliche Stellungnahmen**

Die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen gemäß /1/ Abs. 3.I. wurden im Rahmen dieser Typenprüfung vorgelegt:

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

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [4] „Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -“ erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 12 Seiten, Dokument Nr. 8117142915-1 D V, Rev. 2, Datum 2020-01-14

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

- [5] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E2“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 5 Seiten, Dokument Nr. 8117 142 915 D, Rev. 1, Datum 2020-04-16

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

Die gutachtliche Stellungnahme [5] beinhaltet die Bestätigung des statischen Tests des Rotorblatts.



## **6. Zusammenfassung**

Die eingereichten Gutachtlichen Stellungnahmen und Prüfberichte für den Turm und die zugehörigen Gründungen der Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-138 EP3 E2 entsprechen den Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/.

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

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

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



Industrie Service

### **Anlage 1:**

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

[1]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 18
[2]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 11
[3]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 11
[4]	Kapitel 6, Auflagen 6.1 bis 6.3
[5]	Alle in den in [5] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Prüfbemerkungen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.





Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 20.03.2020

**Prüfnummer:** 3119511-1-d Rev. 4

**Objekt:** Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm  
E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-  
ES-C-01 (Bögl E20)  
Windenergieanlagen  
ENERCON E-138 EP3 und E138-EP3 E2,  
160 m Nabenhöhe  
Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

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

**Gültig bis:** 12.09.2024

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/BP

Dokument:  
3119511-1-  
d\_Rev.4\_ENERCON\_E-138  
EP3\_E-138 EP3 E2\_Hybridturm  
E20\_HH160m.docx

Das Dokument besteht aus  
14 Seiten.  
Seite 1 von 14

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

Die Prüfergebnisse beziehen sich  
ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Sitz: München  
Amtsgericht München HRB 96 869  
UST-IdNr. DE129484218  
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV  
unter [www.tuev-sued.de/impressum](http://www.tuev-sued.de/impressum)

Aufsichtsrat:  
Reiner Block (Vorsitzender)  
Geschäftsführer:  
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),  
Christian Bauerschmidt, Thomas Kainz

Telefon: +49 89 5791-3146  
Telefax: +49 89 5791-2956  
[www.tuev-sued.de/is](http://www.tuev-sued.de/is)



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



Revision	Datum	Änderungen
0	13.09.2019	Erstfassung
1	19.09.2019	Redaktionelle Änderung. Dokumente [1] bis [7] aktualisiert. Zeichnung [12] ergänzt.
2	29.11.2019	Dokumente [1], [2], [4], [8], [14] und [23] aktualisiert. Dokumente [5], [13], [18], [19] und [20] ergänzt.
3	21.01.2019	Neue Revision Dokument [12]. Dokumente [1] bis [8] behalten Gültigkeit.
4	20.03.2020	Dokumente [2], [6] und Zeichnungen [10] aktualisiert. Dokumente [8], [9], [27] und [28] ergänzt. Dokumente [1], [3] bis [5] und [7] behalten ihre Gültigkeit.

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

### Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen .....	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage .....	5
3.	Beschreibung .....	6
3.1.	Maße:.....	7
3.2.	Baustoffe:.....	7
3.3.	Lastannahmen: .....	7
4.	Prüfumfang .....	8
5.	Prüfbemerkungen.....	8
6.	Prüfergebnis.....	11
	Auflagen.....	11
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne .....	14



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben erstellt von Max Bögl Wind AG, wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm", 154 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. d, Datum 2019-10-16  
ENERCON Dokument Nr. D0867769-1
- [2] "Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E20, Stahlurm", 93 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. e, Datum 2020-03-06  
ENERCON Dokument Nr. D0867768-2
- [3] "Statische Berechnung der Bauzustände Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm", 51 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. c, Datum 2019-09-18  
ENERCON Dokument Nr. D0867770-0
- [4] "Spannanweisung der Spannglieder Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm mit Fundament RT2.0", 10 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. d, Datum 2019-11-26  
ENERCON Dokument Nr. D0867772-2
- [5] "Spannanweisung der Spannglieder Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm mit Fundament RT1.0", 10 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. 0, Datum 2019-10-11
- [6] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm E20", 27 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. d, Datum 2020-03-20  
ENERCON Dokument Nr. D0867771-2
- [7] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", 8 Seiten, Dokument Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [8] "Erdbebenlastvergleich Max Bögl Hybridturm E20, Hybridturm und Fundament", 5 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. a, Datum 2020-02-28  
ENERCON Dokument Nr. D0887773-1
- [9] "Bauvorlage E-138 EP3 E1&E2-HT-160-ES-C-01", erstellt von ENERCON GmbH, 1 Seite, Dokument Nr. D0922843-0, Revision 0a, Datum 2020-02-05
- [10] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

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

#### **Lasten:**

- [11] "Lastenbericht Turm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 der WEA E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC", erstellt von ENERCON GmbH, 24 Seiten, Dokument Nr. D0736519-0a, Revision 0a, Datum 2019-08-19



- [12] "Lastenbericht Turm E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 der WEA E-138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC", erstellt von ENERCON GmbH, 25 Seiten,  
Dokument Nr. D0834311-0b, Revision 0b, Datum 2019-07-30
- [13] "Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01) DIBt WZ 2, GKII -Lastenannahmen für Turm und Fundament-", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten,  
Dokument Nr. 8115920151-1 D VII, Rev.0, Datum 2019-08-22
- [14] "Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01) DIBt WZ 2, GKII -Lastenannahmen für Turm und Fundament-", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 12 Seiten,  
Dokument Nr. 8117142915-1 D V, Rev. 2, Datum 2020-01-14

### **Betonturm:**

- [15] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl, 46 Seiten,  
Projekt Nr. 21683, Rev. 0, Datum 2019-08-29
- [16] Zeichnung "Fugendetailplan", erstellt von Max Bögl, 1 Blatt,  
Dokument Nr. DE-E20-M008-Montageplan, Rev. b, Datum 2020-02-04
- [17] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 39 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [18] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 15.04.2019, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [19] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [20] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung "Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm", erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-1.3-284, vom 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [21] "Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung", erstellt von Max Bögl Wind AG, 54 Seiten,  
Projekt Nr. 21683, Rev. b, Datum 2019-06-27
- [22] "Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 7 Seiten,  
Dokument Nr. 8116 986 268-6 D, Rev. 0, Datum 2019-07-04
- [23] "Gutachtliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen", erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, 8 Seiten,  
keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15



## **Stahlturn:**

- [24] Zeichnung "Flansch Turmkopfflansch Spezifikation", erstellt von ENERCON GmbH, 1 Blatt, Zeichnung Nr. 115.03.003-1, Rev. 1, Datum 2018-02-20
- [25] "Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Schraubverbindungen des Azimutlagers Turmkopfflansch Statik und Betriebsfestigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 2, GK II", erstellt von ENERCON GmbH, 58 Seiten, Dokument Nr. D0713132-0, Rev. 0, Datum 2018-05-30
- [26] "Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 und E-138 EP3 E2, verschiedene Konfigurationen – Turmkopfflansch -", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 10 Seiten, Dokument Nr. 8115 022 604-11 D II, Rev. 1, Datum 2019-10-29
- [27] "Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturnschale mit angeschweißten Butzen", 18 Seiten, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [28] "Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Stahlrohrturn Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 5 Seiten, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 1, Datum 2020-03-20

## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“ mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1991-1-4:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-4/NA:2010
- /4/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009“ + DIN EN 1993-1-1/A1:2014, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015
- /6/ DIN EN 1993-1-6:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010



- /7/ DIN EN 1993-1-8:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010
- /8/ DIN EN 1993-1-9:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-9/NA:2010
- /9/ DIN EN 1993-1-10:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-10/NA:2010
- /10/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /11/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /12/ DIN EN 1090-2:2011 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011“
- /13/ DAST – Richtlinie 021:2013 “Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“
- /14/ DIN EN ISO 898-1:2013 “Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl – Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2013”
- /15/ DIN EN ISO 4014:2011 “Sechskantschrauben mit Schaft – Produktklassen A und B (ISO 4014:2011); Deutsche Fassung EN ISO 4014:2011”
- /16/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /17/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600: „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

### **3. Beschreibung**

Der Turm E20 der Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 und ENERCON E-138 EP3 E2 besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 30 Segmenten, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen Betonfertigteilelemente haben einen kreisringförmigen Querschnitt und werden aus Drittschalen zusammengesetzt. Die horizontalen Fugen zwischen den Betonfertigteilen werden planmäßig trocken ausgeführt. Die Fuge am Turmfuß wird mit Verguss hergestellt. Die vertikalen Fugen der Teilsegmente werden trocken ohne Verbund ausgeführt. An der Ober- und Unterseite der Vertikalfuge befinden sich Betonnocken zur Übertragung von Druckkräften, oben und unten werden Schraubelemente angeordnet.

Der Betonschaft wird mit externen, im Inneren des Turms liegenden Spanngliedern vorgespannt. Es gibt zwei unterschiedliche Fundamentkonzepte für den Turm. Bei Fundamenttyp RT 1.0 laufen



die Spannglieder vom obersten Segment des Betonturms bis zur Unterkante der Fundamentkonsole. Bei Fundamenttyp RT 2.0 laufen die Spannglieder vom obersten Segment des Betonturms bis zur Verankerung über der Fundamentoberkante.

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

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

### 3.1. Maße:

Nabenhöhe:	160 m
Gesamtlänge Turm:	156,29 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	8,728 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmkopfflansch:	3,218 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [10] entnommen werden.

### 3.2. Baustoffe:

Betonfertigteile	C100/115 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [19] C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [19] eingesetzt
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und abZ [20]
Spannsystem:	20 Spannglieder System SUSPA Draht EX-72, 72 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt ge- mäß [17] in Verbindung mit [18]
Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025 mit Z15 Güte gemäß DIN EN 10164
Schraubengarnituren	M42-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /13/ M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /13/
Gewindebolzen	M56-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /14/
Ankerring	S355J2 gemäß DIN EN 10025
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014 /15/

### 3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Windenergieanlagen E-138 EP3 und E-138 EP3 E2 sind in [11] und [12] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und für die Ermüdungsnachweise angegeben. Diese Lasten wurden mit den gutachtlichen Stellungnahmen [13] und [14] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. In [11] und [12] sind für die Ermüdungsnachweise an den Turmschnitten mehrere Markov-Matrizen zur Erfassung der Anlagenvarianten und



Systemsteifigkeiten gegeben. In [1] wurden die Ermüdungsnachweise mit den als maßgebend betrachteten Markov-Matrizen geführt. In [2] wurden die Ermüdungsnachweise einhüllend für das maßgebende Schädigungsäquivalent geführt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind in Dokument [8] auf Basis des Dokuments [9] berücksichtigt. In Dokument [9] sind die Überlagerungen der Erdbebenlasten auf Basis der DIN EN 1998-1 /10/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland mit den Windlasten des Lastfalls D.5 / D.6 des Dokumentes [12] berücksichtigt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /11/ in Deutschland abgedeckt. Dokument [9] wird mit diesem Prüfbericht bestätigt.

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

Turmkopfmasse: 252 t (E-138 EP3)

Turmkopfmasse: 261 t (E-138 EP3 E2)

#### **4. Prüfumfang**

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

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten Unterlagen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich.

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

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

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

#### **5. Prüfbemerkungen**

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

#### **Schnittstellen:**

Die Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung im Einflussbereich des Turmkopfflansches und des Radius des Turmkopfflansches und der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) gemäß Zeichnung [24] wurden im Dokument [25] durchgeführt und mit [26] bestätigt.



Der Ermüdungsnachweis der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wird mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der Lasteinleitung und Lastweiterleitung aus den Verankerungen der Spannglieder im Fundament RT 1.0 sind nicht Bestandteil dieser Prüfung.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliederverankerung im Fundament RT 2.0 wurden in Dokument [21] durchgeführt und mit [22] bestätigt.

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

### Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [13] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,201 Hz bis 0,236 Hz) und des im Lastgutachten [14] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,199 Hz bis 0,232 Hz) Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\phi, \text{dyn}} = 210 \text{ GNm/rad}$  betragen.

### Imperfektionen:

Die Lasten aus [11] und [12] enthalten lediglich Effekte aus Theorie II. Ordnung. Zusätzliche Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m, sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von  $k_{\phi, \text{stat}} = 42 \text{ GNm/rad}$  wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von /1/ wurden für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. In Dokument [7] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [7] kann diese Abweichung akzeptiert werden.

### Bauzustände, Querschwingungen:

Die Standsicherheit des Turms vor dem Vorspannen der Spannglieder wurde in [3] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [3] geführt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

	<b>Bauzustand / vorübergehender Zustand</b>	<b>Gesamte maximale Dauer</b>
1	Nicht vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	12 Monate
2	Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	6 Monate
3	Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	6 Monate
4	Vorgespannter Betonturm mit 1. und 2. Stahlsektionen	6 Monate
5	Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	6 Monate
6	Vollständiger Turm und Gondel ohne Rotorblätter	1 Monat
7	Vollständig errichtete Anlage ohne Netzanschluss	12 Monate

### Ermüdung:



Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter der Betonfertigteilesegmente zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 28-90 Tagen angesetzt. Abweichend von den Angaben in /1/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd,fat}$  für Fertigteilelemente der Betongüte C100/115 gemäß [19] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{Rsk}$  für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [20] angesetzt.

### Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [2] über die Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/ hinaus für eine Bezugstemperatur  $T = -40^{\circ}\text{C}$  durchgeführt.

### Kerbfallklassen:

Für die Berechnung des Turmes in [2] wurden die Kerbfallklassen aller zusätzlich an der Turmwand befestigten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) gemäß [27] und geprüft mit [28] sowie aller Bohrungen folgendermaßen angesetzt:

Lage in Bezug auf die Turmhöhe	Kerbfallklasse gemäß [27]
Zwischen 0,000 und 3,080 m (Blech 1):	KFK 89
Zwischen 3,080 und 6,020 m (Blech 2):	KFK 90
Zwischen 6,020 und 11,910 m (Bleche 3 und 4):	KFK 89
Zwischen 11,910 und 17,920 m (Bleche 5 und 6):	KFK 88
Zwischen 17,920 und 20,190 m (Blech 7):	KFK 87
Zwischen 20,190 und 23,050 m (Blech 8):	KFK 86
Zwischen 23,050 und 25,910 m (Blech 9):	KFK 89
Zwischen 25,910 und 28,770 m (Blech 10):	KFK 87
Zwischen 28,770 und 31,630 m (Blech 11):	KFK 90
Zwischen 31,630 und 34,490 m (Blech 12):	KFK 88
Zwischen 34,490 und 37,350 m (Blech 13):	KFK 90
Zwischen 37,350 und 40,320 m (Blech 14):	KFK 88
Zwischen 40,320 und 43,330 m (Blech 15):	KFK 85
Zwischen 43,330 und 46,170 m (Blech 16):	KFK 84
Zwischen 46,170 und 49,040 m (Blech 17):	KFK 83
Zwischen 49,040 und 51,910 m (Blech 18):	KFK 81
Zwischen 51,910 und 54,780 m (Blech 19):	KFK 80
Zwischen 54,780 und 57,660 m (Blech 20):	KFK 78
Zwischen 57,660 und 60,540 m (Blech 21):	KFK 77
Zwischen 60,540 und 63,420 m (Blech 22):	KFK 75
Zwischen 63,420 und 66,300 m (Blech 23):	KFK 73



Industrie Service

Zwischen 66,300 und 69,419 m (Bleche 24 und 25 teilweise):	KFK 71
<b>Bohrungen für Flugbefeuernng</b>	<b>Kerbfallklasse gemäß /8/</b>
18.820 m (Blech 7):	KFK 90

Abweichend von Zeichnung [10] können gemäß [27] die hier genannten Kerbfallklassen für zusätzlich an der Turmwand befestigte Teile verwendet werden.

### **Ausführungsvarianten:**

Die 2 Varianten des Fundamentes unterscheiden sich in der Spanngliedverankerung. Für das Fundament RT 1.0 ist die Spannanweisung [5] und für das Fundament RT 2.0 die Spannanweisung [4] heranzuziehen.

Die Variante mit chinesischer Stahlqualität für die Spanngliedverankerung in RT 2.0 ist für eine Anwendung in Deutschland nicht zulässig.

### **Änderung in Rev.4 dieses Prüfberichtes:**

Aufgrund der Anpassung der Kerbfälle für Anbauteile gemäß [27] wurde eine neue Revision des Dokumentes [2] eingefügt. Die Ausführungsvariante des Turmes mit Kerbfall 80 für Anschweißteile wurde aus der Turmzeichnung entfernt. Erdbebennachweise gemäß [8] und [9] wurden aufgenommen. Die Zeichnung [A8] im Anhang 1 wurde aktualisiert.

Dokument [6] wurde unter Berücksichtigung der Stellungnahme [23] aktualisiert.

Zeichnungen [A1], [A5], [A6], [A7] and [A9] wurden aktualisiert. Redaktionelle Änderungen.

## **6. Prüfergebnis**

Die Berechnung und die zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den geprüften Hybridturm entsprechen den in Abschnitt 2 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

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

Der Turm der Windenergieanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [11] und [12] geeignet.

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

## **Auflagen**

### **Allgemein**

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [11] und [12] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
2. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
3. Es ist für jede Anlage sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten wird.



4. Bauzustände und Stillstandszeiten der Anlage sind gemäß den Angaben in Abschnitt 5 zeitlich zu beschränken. Falls die zulässigen Zeiten überschritten werden oder die Gondel zu einem späteren Zeitpunkt vom Turm genommen wird, so sind geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.

### **Stahlsektionen**

5. Der Korrosionsschutz der Turmaußenseite (Turminnenseite) ist für eine Korrosivitätskategorie C4 (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Industrienähe mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre oder Meeresnähe mit hoher Salzbelastung ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie C5-I bzw. C5-M erforderlich. Für die Schutzdauer ist die Klasse „hoch“ gemäß DIN EN ISO 12944-5 anzusetzen, dies entspricht einer angestrebten Zeitspanne von mindestens 15 Jahren bis zur ersten planmäßigen Instandsetzungsmaßnahme aus Korrosionsschutzgründen.
6. Sämtliche in Dickenrichtung belasteten Bauteile (z.B. Flansche und Zargen) müssen hinsichtlich der Dopplungsfreiheit nach EN 10160, Qualitätsklasse S1 und E1, oder einem äquivalenten Standard ultraschallgeprüft sein.
7. Der Stahlrohrturm darf nur von Herstellern mit einer Qualifizierung gemäß DIN EN 1090-1 für mindestens Ausführungsklasse EXC3 gefertigt werden.
8. Die Fertigung des Stahlrohrturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.
9. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeinrichtungen) müssen mindestens den in Abschnitt 5 angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
10. Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches dürfen keine zusätzlichen Teile angeschweißt werden.
11. Beim Anschweißen der Flansche an die Turmwand ist fachgerecht vorzuwärmen.

### **Betonteil**

12. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [17] und [18] sowie für die Hochfestbetone [19] und geschweißten Bewehrungselemente [20] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
13. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren. Die Druckfestigkeit des Vergussmörtels muss zum Zeitpunkt des Vorspannes  $\geq 34 \text{ N/mm}^2$  betragen.
14. Für das Vorspannen der Spannglieder sind die Spannanweisungen [4] in Kombination mit Fundament RT 2.0 und [5] in Kombination mit Fundament RT 1.0 heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
15. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [6] heranzuziehen.
16. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung muss das Fertigteilsegment Adapter mindestens 90 Tage alt sein



Industrie Service

### Prüfintervalle

17. Die planmäßige Vorspannung der Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt-Richtlinie /1/ (Abschnitt 13.1 Anmerkung 1) erneut zu kontrollieren und ggf. nachzuspannen.
18. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß der DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.

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

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

Der Bearbeiter

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

B. Peng

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



**Anhang 1 zu 3119511-1-d Rev. 4: Verzeichnis geprüfter Pläne**

**Betonteil (erstellt von Max Bögl)**

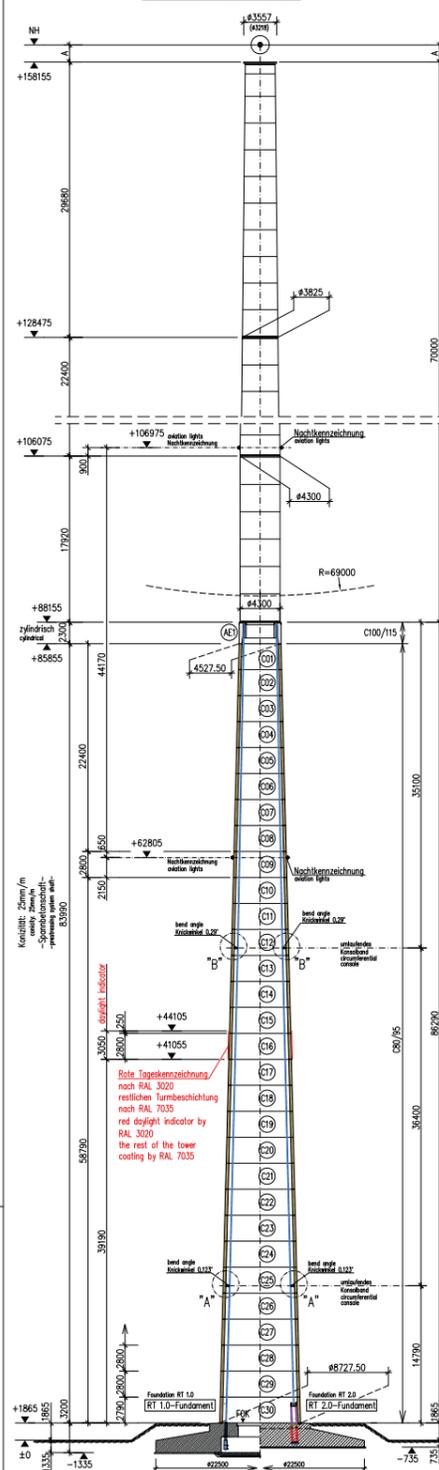
Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E20-001-XX-X- Uebersicht ENERCON Planbe- zeichnung: D0867756-4	f	Uebersichtsplan Gesamtturm NH=160m, Spannglieds. „SUSPA“	2020-03-16
[A2]	DE-E20-096-XX-X-Be- wehrung ENERCON Planbe- zeichnung: D0867761-1	c	Bewehrung Rohteile C-Ringe (3-teilig)	2019-10-15
[A3]	DE-E20-AE1-HV-1- Schalplan ENERCON Planbe- zeichnung: D0867762-0	a	Gewindestange fuer Uebergangsstu- eck mit Decordynbeschichtung T0150831	2019-09-18
[A4]	DE-E20-AE1-HV-2- Schalplan ENERCON Planbe- zeichnung: D0867763-0	a	Gewindestange fuer Uebergangsstu- eck mit Schrumpfschlauch T0150830	2019-09-18
[A5]	DE-E20-AE1-K1-X-Be- wehrung ENERCON Planbe- zeichnung: D0867764-1	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2020-01-13
[A6]	DE-E20-AE1-K1-X- Schalplan ENERCON Planbe- zeichnung: D0867760-2	d	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2020-01-28
[A7]	DE-E20-095-XX-X- Schalplan ENERCON Planbe- zeichnung: D0867765-1	b	Schalplan Rohteile C-Ringe	2019-10-14

**Stahlteil (erstellt von Max Bögl)**

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A8]	DE-E20-022-XX-X- Uebersicht ENERCON Planbe- zeichnung: D0867759-3	l	Übersichtsplan Stahlturm	2020-03-13
[A9]	DE-E20-M015-Monta- geplan ENERCON Planbe- zeichnung: D0918251-0	0	Verankerung Stahlturm am Ueber- gangsst. mit zusätzlich angepassten Belegscheiben	2020-01-13

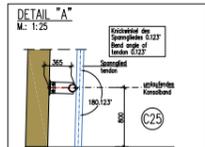
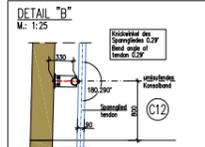
LONGITUDINAL SECTION  
LAENGSSSCHNITT  
M: 1:200

Anlage	A	NH
(mm)	(m)	(m ü. NN)
E-138 EP3	1835	159,990
E-138 EP3 E2	1845	160,000

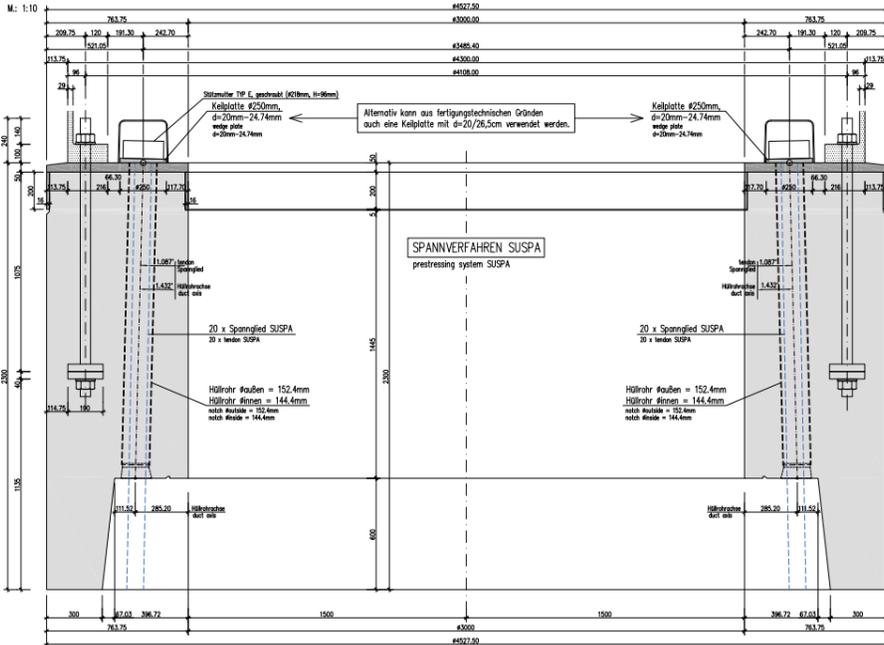


Spannverfahren/Prestressing system  
gültig für RT 1.0- und RT 2.0-Fundament

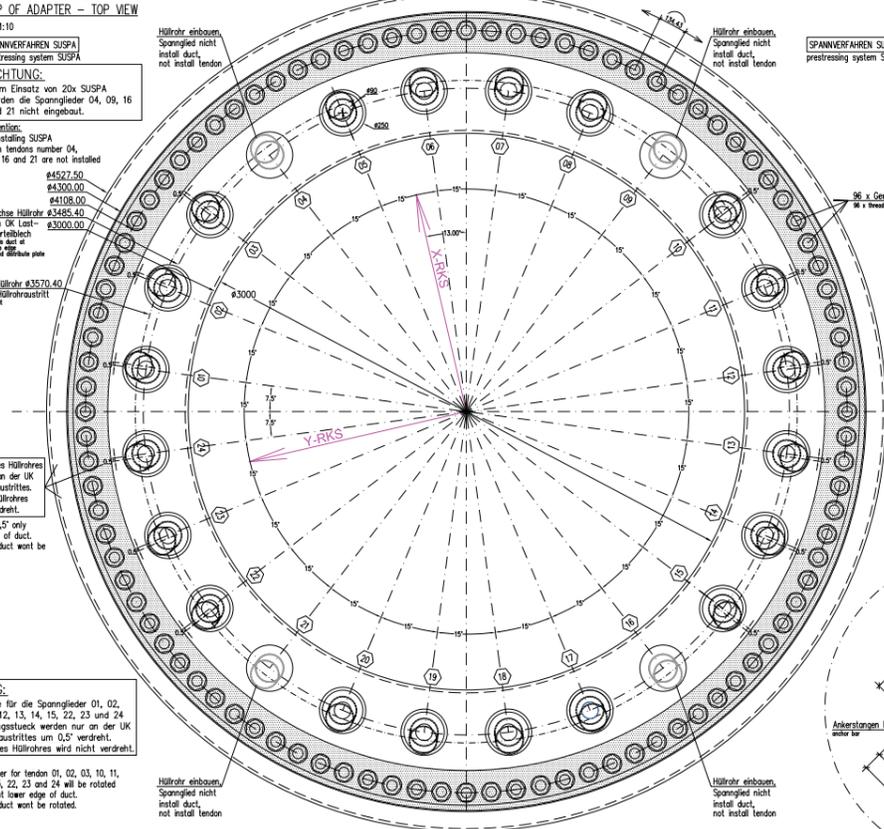
Spannverfahren/ Prestressing system	OK	EC
Spannverfahren Prestressing system	SUSPA	Druckspannung SUSPA-Duct E1
Spannverfahren Prestressing system	SUSPA	E-138-138 E138-07/08/08
Spannverfahren Prestressing system	SUSPA	SUSPA E1-12 SUSPA E1-12
Spannverfahren Prestressing system	SUSPA	Druckspannung SUSPA-Duct E1
Spannverfahren Prestressing system	SUSPA	Druckspannung SUSPA-Duct E1
Spannverfahren Prestressing system	SUSPA	Druckspannung SUSPA-Duct E1



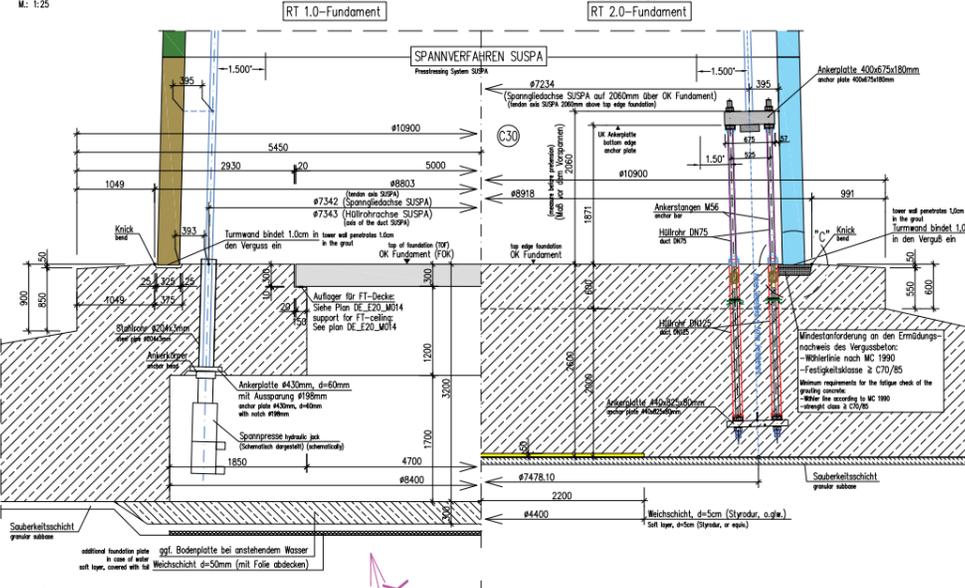
UEBERGANGSSTUECK TRANSITION PIECE  
M: 1:10



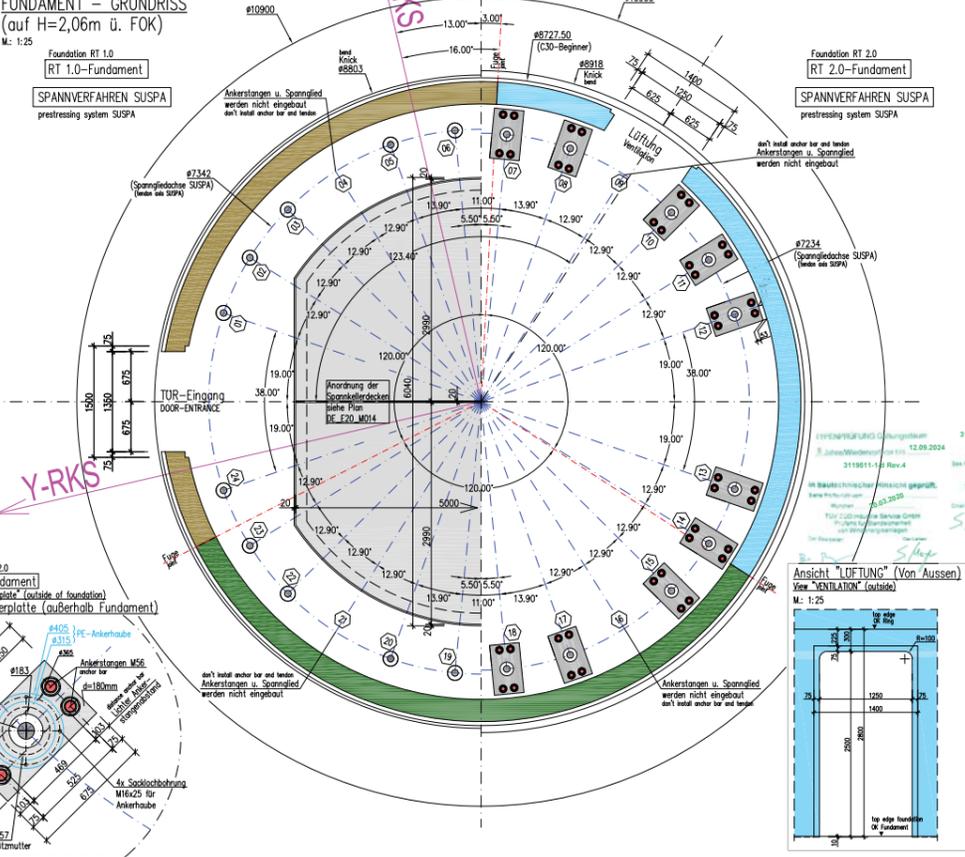
KOPFAUSBILDUNG - DRAUFSICHT  
TOP OF ADAPTER - TOP VIEW  
M: 1:10



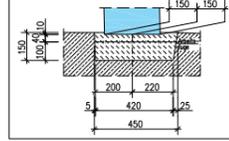
FOUNDATION CROSS SECTION  
FUNDAMENT - QUERSCHNITT  
M: 1:25



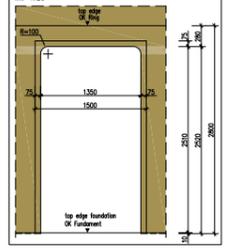
FOUNDATION FLOOR PLAN  
(at the height of 2,06m above top edge foundation)  
FUNDAMENT - GRUNDRISS  
(auf H=2,06m ü. FOK)  
M: 1:25



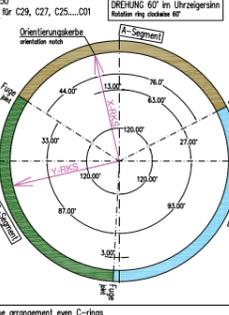
Detail "C" (Verguss) RT 2.0-Fundament  
Detail "C" (grouting) Foundation RT 2.0  
M: 1:10



Ansicht "TUR" (von Innen)  
View "tower" (inside)  
M: 1:25



Schema-Anordnung ungeradzähliger C-Ringe  
Schema arrangement odd-numbered C-rings  
M: 1:50



Schema-Anordnung geradzähliger C-Ringe  
Schema arrangement even-numbered C-rings  
M: 1:50



Ansicht "LOFTUNG" (Von Außen)  
View "LOFTUNG" (outside)  
M: 1:25



MAX BOGL  
Fortschritt baut man aus Ideen.

Project No: 21683  
Date: 15.04.2016  
Scale: 1:200, 1:50

Author: Max Bögl  
Designer: Max Bögl  
Checked: Max Bögl  
Approved: Max Bögl

Project: Windkraftanlage  
Scale: 1:200, 1:50

Client: Max Bögl

Address: ...

# BEWEHRUNG GUELTIG FUER ALLE 3-TEILIGEN RINGE

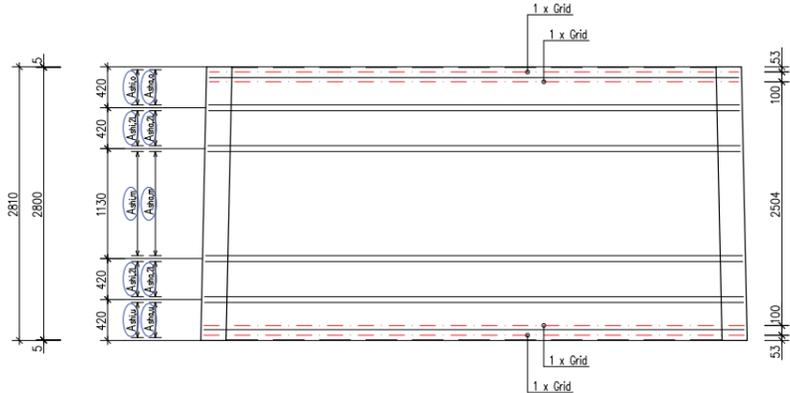
REINFORCEMENT VALID FOR ALL 3-PARTED RING SEGMENTS



Dargestellt ist Ring C14  
It is shown ring C14

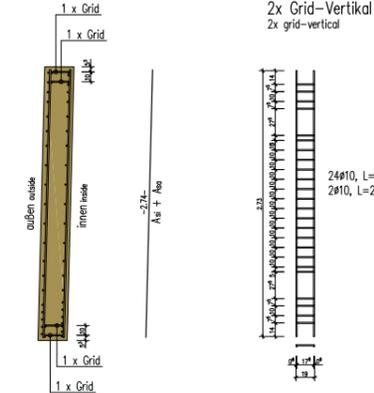
**ANSICHT VIEW**

M: 1:25



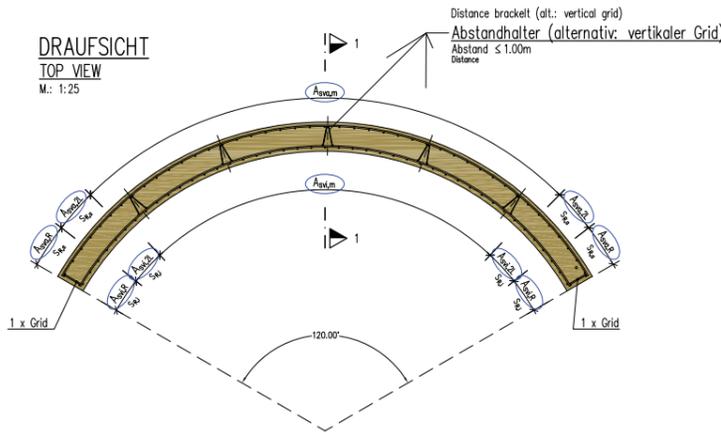
**SCHNITT 1-1 SECTION 1-1**

M: 1:25



**DRAUFICHT TOP VIEW**

M: 1:25

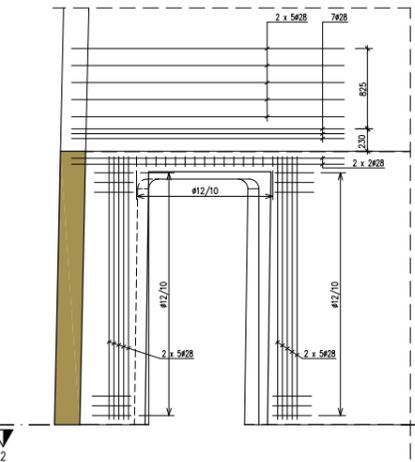


Ringbez. Ringderom.	S <sub>a</sub>	S <sub>i</sub>	außen outside						innen inside							
			horizontal			vertikal			horizontal			vertikal				
			A <sub>0,ha</sub>	A <sub>2L</sub>	A <sub>3,ha</sub>	A <sub>3,ha</sub>	A <sub>2R</sub>	A <sub>2L</sub>	A <sub>3,ia</sub>	A <sub>0,ia</sub>	A <sub>2L</sub>	A <sub>3,ia</sub>	A <sub>3,ia</sub>	A <sub>2R</sub>	A <sub>2L</sub>	A <sub>3,ia</sub>
			φ [mm] / [cm]						φ [mm] / [cm]							
C01	296	257	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 15.0	φ12 20.0	φ10 20.0+φ12 20.0	φ10 15.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 7.5	φ10 10.0	φ10 10.0+φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C02	305	266	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 17.5	φ12 17.5	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 17.5	φ10 22.0	φ12 17.5	φ10 05.0	φ12 7.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C03	311	275	φ10 07.5	φ12 15.0	φ12 17.5	φ10 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 15.0	φ10 07.5	φ12 7.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C04	324	285	φ10 07.5	φ12 17.5	φ12 20.0	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 20.0	φ10 07.5	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C05	333	294	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 17.5	φ12 17.5	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 17.5	φ10 07.5	φ12 10.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C06	342	303	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 20.0	φ12 20.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 20.0	φ10 07.5	φ10 7.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C07	351	312	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 20.0	φ12 20.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ10 07.5	φ10 20.0+φ12 20.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C08	362	321	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 20.0	φ12 20.0	φ12 20.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C09	376	330	φ12 07.5	φ10 15.0	φ10 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C10	376	340	φ12 07.5	φ10 15.0	φ10 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C11	388	349	φ12 07.5	φ10 15.0	φ10 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C12	397	358	φ12 07.5	φ10 15.0	φ10 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C13	406	367	φ12 07.5	φ10 17.5	φ10 15.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C14	414	376	φ12 07.5	φ10 17.5	φ10 17.5	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C15	422	385	φ12 07.5	φ10 17.5	φ10 17.5	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C16	434	394	φ12 07.5	φ10 17.5	φ10 17.5	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ10 10.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C17	443	404	φ12 07.5	φ10 17.5	φ10 20.0	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C18	452	413	φ12 07.5	φ10 17.5	φ10 20.0	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 12.5	φ12 15.0	φ10 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C19	461	422	φ12 07.5	φ10 15.0	φ10 20.0	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 10.0	φ12 15.0	φ10 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C20	470	431	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C21	480	440	φ10 15.0+φ12 15.0	φ10 15.0	φ10 20.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ10 15.0+φ12 15.0	φ12 15.0	φ12 12.5	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C22	488	449	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 10.0	φ12 15.0	φ12 15.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C23	498	459	φ10 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 10.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 10.0	φ12 15.0	φ12 15.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C24	507	468	φ10 07.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 07.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C25	516	477	φ10 20.0+φ12 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 20.0	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C26	525	486	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C27	532	495	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C28	544	504	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 20.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C29	553	514	φ12 12.5	φ10 15.0	φ10 20.0	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0
C30	562	523	φ12 12.5	φ10 15.0	φ12 17.5	φ12 12.5	φ10 20.0	φ10 22.0	φ12 15.0	φ12 07.5	φ12 17.5	φ12 15.0	φ12 15.0	φ10 20.0	φ10 20.0	φ10 20.0

**DETAIL TUEROEFFNUNG DETAIL DOOR OPENING**

**ANSICHT "VON INNEN" VIEW "INSIDE"**

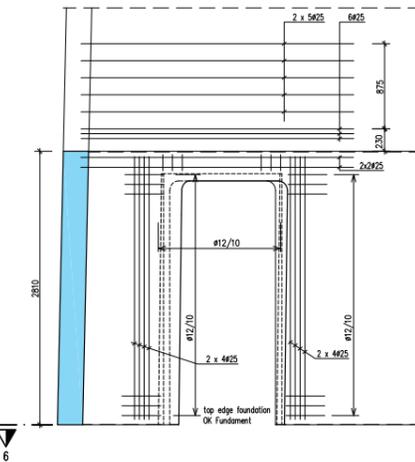
M: 1:25



**DETAIL LUEFTUNGSOFFNUNG DETAIL VENTILATION OPENING**

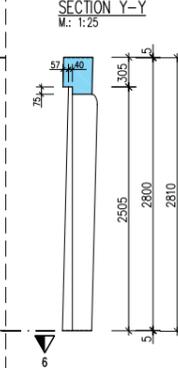
**ANSICHT "VON INNEN" VIEW "INSIDE"**

M: 1:25



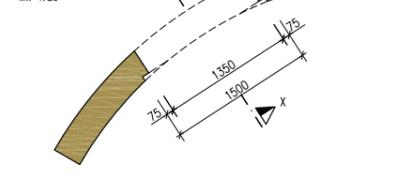
**SCHNITT Y-Y SECTION Y-Y**

M: 1:25



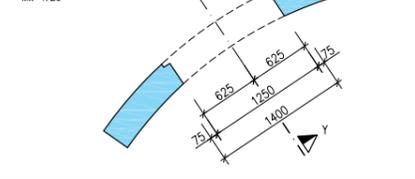
**SCHNITT 2-2 SECTION 2-2**

M: 1:25



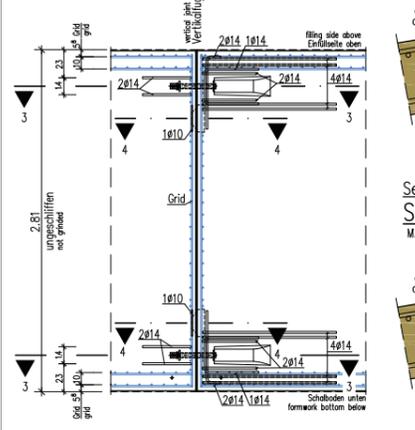
**SCHNITT 6-6 SECTION 6-6**

M: 1:25



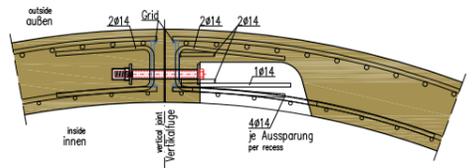
**View vertically joint (inside) ANSICHT VERTIKALFUGE (von Innen)**

M: 1:20



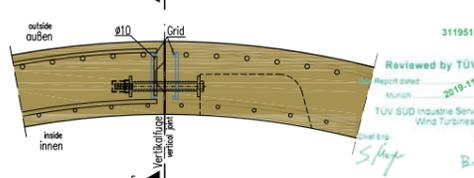
**Section 3-3 (additional reinforcement screw connection) SCHNITT 3-3 (Zusatzbewehrung Verschraubung)**

M: 1:10



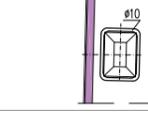
**Section 4-4 (additional reinforcement for interlocking) SCHNITT 4-4 (Zusatzbewehrung Nocke)**

M: 1:10



**Section 5-5 SCHNITT 5-5**

M: 1:10



Zugehörige Pläne	Associated drawings
Plan Nr.: DE_E20_001_XX_X_Ubersicht Liebersichtplanung Gesamtturn	layout complete tower
DE_E20_002_XX_X_Schalplan Schalplan Rohteile C-Ringe	formwork plan row part C-rings

**Biege- und Verlegeanweisung Bending- and installation instruction nach/according EC2 + NA**

Mindestbiegeradius/Minimum mandrel diameter

Die Gesamtlängen der Auszüge beziehen sich auf Außenmaße  
All total lengths of bar profiles show outside dimensions

**Materialien Building materials**

letzte Stahlposition last steel bar position	Betonstahl: B500B reinforcement steel: B500B
letzte Mattenposition last mesh position	Betonfestigkeitsklasse: siehe Betonfestigkeitsklasse DE_E20_001_XX_X_Ubersicht nach/according to EN EN 1992-1-1

Reinforcement is according to EN EN 1992-1-1 Kap. 4.4.1 unabhängig zu prüfen  
Concrete cover has to be checked after the final cast according to EN EN 1992-1-1 Kap. 4.4.1

Erzeuger/Manufacturer	Produkt/Produkt	Typ/Typ	Bezeichnung/Description
ENERCON	Windenergieanlage	E-138	EP3-HT-160-ES-C01
ENERCON	wind turbine generator	E-138	EP3-HT-160-ES-C01

**HINWEISE:**  
- Einbauteile & Transportanker (auch Erdung) siehe separater Einbauteilplan  
- Installation parts & transport anchors (also earthing) see separate installation parts plan

**HINWEISE SCHWEISSARBEITEN:**  
Alle Schweißarbeiten an Bewehrungsstäben sind nach DIN EN ISO 17660-1 und DIN EN 17660-2 fuer Bewehrung auszuführen. Sonstige Schweißarbeiten sind nach DIN EN 1993-1-8 und nach DIN EN 1090-2 fuer Stahlbau allgemein auszuführen!

Maße in "blau" werden in Tabelle angegeben  
Tabelle gültig für alle Ringe  
measure in "blue" are listed in the table  
table valid for all rings

**NOTES WELDING WORK:**  
All welding work on reinforcement bars have to be performed to DIN EN ISO 17660-1 and DIN EN ISO 17660-2 for reinforcement, otherwise welding work have to be performed to DIN EN 1993-1-8 and DIN EN 1090-2 for regular steel construction.

**HINWEISE SCHWEISSARBEITEN:**  
Die Stäben der außenliegenden und der innenliegenden Matten werden mit den Grids an den Kreuzungspunkten gemäß WFS verschweißt.  
The bar ends of the external and the internal reinforcement steel mesh become welded on the crosspoints according to WFS

# 96 x herstellen pro Uebergangsstueck

96 x produce per transition piece

**E130** 6KT-Mutter M56-10 nach DAST-Richtlinie 021 - flZnnc1-1000h, Toleranz 6H  
hexagon nut M56-10 according DAST-guideline 021 - flZnnc1 - 1000h, tolerance 6H

**E131** HV-Scheibe M56-370HV nach DAST-Richtlinie 021 - flZnnc1-1000h  
hv-washer M56-370HV according DAST-guideline 021 - flZnnc1-1000h

## Vorgaben zum Ankerbolzen

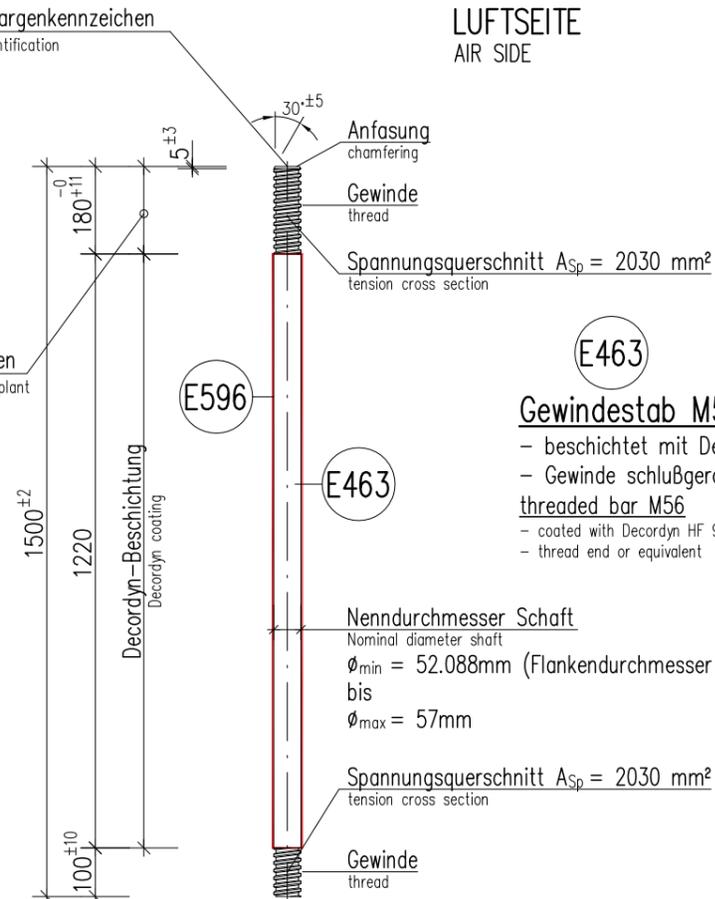
- Festigkeit in Anlehnung an ISO 898-1 Festigkeitsklasse 10.9
- Kerbschlagarbeit 27 Joule bei -40°C
- Gewinde schlussgerollt
- 100% Rissprüfung
- Die chemischen (gemäß EN 10083-1) und mechanischen (gemäß ISO 898-1) Materialeigenschaften sind durch Abnahmeprüfzeugnisse 3.1 nach EN 10204 zu belegen
- Korrosionsschutz durch Beschichtung mit Decordyn HF91 (d>0,5mm) Farbe vom Lieferanten frei wählbar
- Geradheit gemäß DIN EN 10278: 2mm/m
- Toleranzen gemäß DIN EN 976-1 für das Gewinde

## Standards for anchor bolt

- strength properties according to ISO 898-1 property class 10.9
- impact energy 27 joule at -40°C
- chipless manufactured threads
- 100% free of cracks
- The chemical (according to EN 10083-1) and mechanical (according to ISO 898-1) material properties are to be documented by inspection certificates 3.1 according to EN 10204!
- Corrosion protection by coating with Decordyn HF91 (d>0,5mm) selectable color from suppliers
- Straightness acc. to DIN EN 10278: 2mm/m
- Tolerances according to DIN EN 976-1 for thread

Stempelung Hersteller, 10.9 + Chargenkennzeichen  
Stamping manufacturer, 10.9 + steel melt identification

Sprühfett im Werk dünn aufsprühen  
apply a thin layer of spray-on-grease in the plant



**E463**  
**Gewindestab M56**  
- beschichtet mit Decordyn HF 91 (d>0,5mm)  
- Gewinde schlussgerollt oder gleichwertig  
**threaded bar M56**  
- coated with Decordyn HF 91 (d>0,5mm)  
- thread end or equivalent

**BETONSEITE**  
POURED SIDE

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer  
5 Jahre/Wiedervorlage bis 12.09.2024

3119511-1-d Rev.1

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom 19.09.2019 München

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Prüfamt für Standsicherheit von Windenergieanlagen

Der Bearbeiter: Der Leiter:

*B. P. S. Meyer*

**E14** HV-Scheibe M56-370HV nach DAST-Richtlinie 021  
hv-washer M56-370HV according DAST-standard 021

**E22** Sechskantmutter M56-10 nach DAST-Richtlinie 021, Toleranz 6H  
hexagon nut M56-10 according DAST-guideline 021, tolerance 6H

Einbau- und Zubehörteilliste				List of installation parts	
E-Nr.	Menge	Einheit	Bezeichnung	SAP-Nummer	Description
E14	1	Stück	Scheibe DAST021 M56 370HV SCHW	2168954	washer DAST-guideline 021 M56 370HV black
E22	1	Stück	6KT-M DAST021 M56 10 SCHW 6H	2166038	hexagon nut DAST-guideline 021 M56 10 black 6H
E130	1	Stück	6KT-M DAST021 M56 10 flZnnc1-1000h 6H	2173040	hexagon nut DAST-guideline 021 M56 10 flZnnc1-1000h 6H
E131	1	Stück	Scheibe DAST021 M56 370HV flZnnc1-1000h	2173031	washer DAST-guideline 021 M56 370HV flZnnc1-1000h
E463	1	Stück	GewStab M56 L1500 10.9 L100/180 ohne FAS	T0053821	female-bar M56 L1500 10.9 L100/180 without chamfer
E596	-	-	DecordynHF91 FUCHS LUBRITECH	T0023930	decordyn coating material HF91 fuchs lubritech

Zugehörige Pläne		Associated drawings
Plan Nr.:	Planbezeichnung	
DE_E20_001_XX_X_Uebersicht	Übersichtsplan Gesamtturm	layout complete tower
DE_E20_AE1_K1_X_Schalplan	Schalplan Uebergangsstueck AE1	formwork of transition piece AE1
DE_E20_AE1_K1_X_Bewehrung	Bewehrung Uebergangsstueck AE1	reinforcement of transition piece AE1

ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA  
ENERCON wind turbine generator E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

▼			
▼			
▼			
▼			
▼	Anlagenbeschreibung angep.; Enercon Planbezeichnung ergän.	Ern./Ler.	18.09.2019
Änderung:	Bezeichnung:	erstellt:	Datum:



Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr:	Max Bögl	Projekt Nr.:	21683
Bauvorhaben:	Windkraftanlage	Blattgr.:	.594*.42
Bauteile:	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0150831 threaded bar with decordyn coating for transition piece	Maßstab:	1:50
erst.: Moos.	Dat.: 22.07.2019	Boegl-Planbezeichnung	
gepr.: Reitensp.	Dat.: 22.07.2019	Land	Turmtyp
freig.: Betz	Dat.: 22.07.2019	Ringtyp	Segment
		Besonderheit	Planart
		HV	1
		Schalplan	a
"ENERCON"-Planbezeichnung		D0867762-0	

Soficad-Dateiname: DE\_E20\_AE1\_HV\_1\_Schalplan

# 96 x herstellen pro Uebergangsstueck

96 x produce per transition piece

**E130** 6KT-Mutter M56-10 nach DAST-Richtlinie 021 - flZnnc1-1000h, Toleranz 6H  
hexagon nut M56-10 according DAST-guideline 021 - flZnnc1 - 1000h, tolerance 6H

**E131** HV-Scheibe M56-370HV nach DAST-Richtlinie 021 - flZnnc1-1000h  
hv-washer M56-370HV according DAST-guideline 021 - flZnnc1-1000h

## Vorgaben zum Ankerbolzen

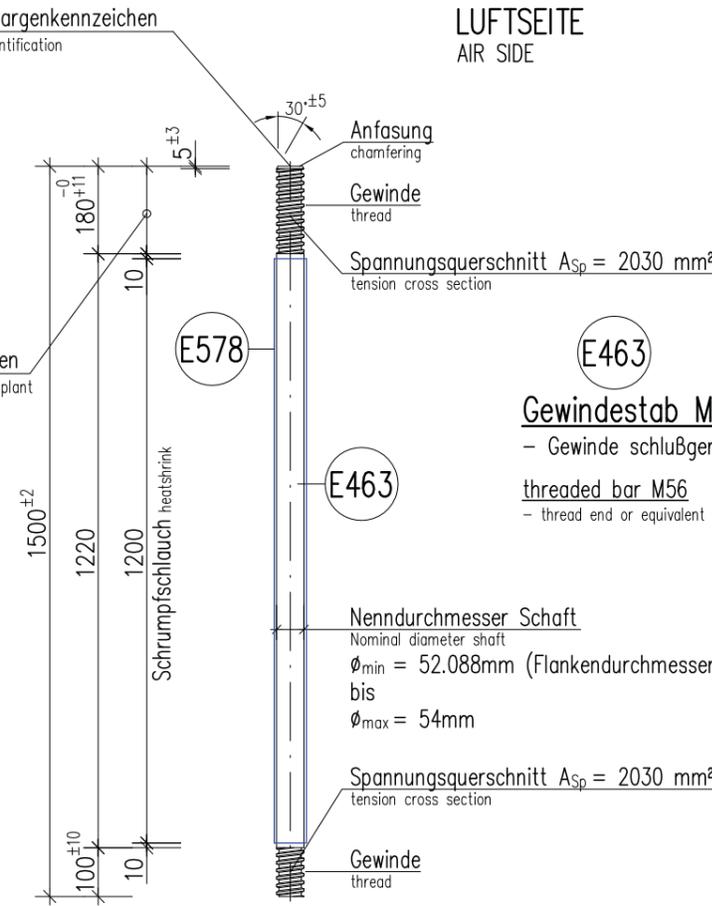
- Festigkeit in Anlehnung an ISO 898-1 Festigkeitsklasse 10.9
- Kerbschlagarbeit 27 Joule bei -40°C
- Gewinde schlussgerollt
- 100% Rissprüfung
- Die chemischen (gemäss EN 10083-1) und mechanischen (gemäss ISO 898-1) Materialeigenschaften sind durch Abnahmeprüfzeugnisse 3.1 nach EN 10204 zu belegen
- Korrosionsschutz durch Schrumpfschlauch Farbe vom Lieferanten frei wählbar
- Geradheit gemäß DIN EN 10278: 2mm/m
- Toleranzen gemäß DIN EN 976-1 für das Gewinde

## Standards for anchor bolt

- strength properties according to ISO 898-1 property class 10.9
- impact energy 27 joule at -40°C
- chipless manufactured threads
- 100% free of cracks
- The chemical (according to EN 10083-1) and mechanical (according to ISO 898-1) material properties are to be documented by inspection certificates 3.1 according to EN 10204!
- Corrosion protection by heatshrink selectable color from suppliers
- Straightness acc. to DIN EN 10278: 2mm/m
- Tolerances according to DIN EN 976-1 for thread

Stempelung Hersteller, 10.9 + Chargenkennzeichen  
Stamping manufacturer, 10.9 + steel melt identification

Sprühfett im Werk dünn aufsprühen  
apply a thin layer of spray-on-grease in the plant



LUFTSEITE  
AIR SIDE

## Gewindestab M56

- Gewinde schlußgerollt oder gleichwertig
- threaded bar M56
- thread end or equivalent

BETONSEITE  
POURED SIDE

Einbau- und Zubehörteilliste				List of installation parts	
E-Nr.	Menge	Einheit	Bezeichnung	SAP-Nummer	Description
E14	1	Stück	Scheibe DAST021 M56 370HV SCHW	2168954	washer DAST-guideline 021 M56 370HV black
E22	1	Stück	6KT-M DAST021 M56 10 SCHW 6H	2166038	hexagon nut DAST-guideline 021 M56 10 black 6H
E130	1	Stück	6KT-M DAST021 M56 10 flZnnc1-1000h 6H	2173040	hexagon nut DAST-guideline 021 M56 10 flZnnc1-1000h 6H
E131	1	Stück	Scheibe DAST021 M56 370HV flZnnc1-1000h	2173031	washer DAST-guideline 021 M56 370HV flZnnc1-1000h
E463	1	Stück	GewStab M56 L1500 10.9 L100/180 ohne FAS	T0053821	female-bar M56 L1500 10.9 L100/180 without chamfer
E578	1	Stück	Schrumpfschlauch CABICON idm60 L3700	T0145022	heatshrink CABICON idm60 L3700

Zugehörige Pläne		Associated drawings
Plan Nr.:	Planbezeichnung	
DE_E20_001_XX_X_Uebersicht	Übersichtsplan Gesamtturm	layout complete tower
DE_E20_AE1_K1_X_Schalplan	Schalplan Uebergangsstueck AE1	formwork of transition piece AE1
DE_E20_AE1_K1_X_Bewehrung	Bewehrung Uebergangsstueck AE1	reinforcement of transition piece AE1

ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA	ENERCON wind turbine generator E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA
---	--

Anlagenbeschreibung ange.; Enercon Planbezeichnung ergä.	Ern./Ler.	18.09.2019
Änderung:	Bezeichnung:	erstellt: Datum:



**E14** HV-Scheibe M56-370HV nach DAST-Richtlinie 021  
hv-washer M56-370HV according DAST-standard 021

**E22** Sechskantmutter M56-10 nach DAST-Richtlinie 021, Toleranz 6H  
hexagon nut M56-10 according DAST-guideline 021, tolerance 6H

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer  
5 Jahre/Wiedervorlage bis 12.09.2024

3119511-1-d Rev.1

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom 19.09.2019

München  
TUV SUD Industrie Service GmbH  
Prüfamt für Standsicherheit  
von Windenergieanlagen

Der Bearbeiter: Der Leiter:

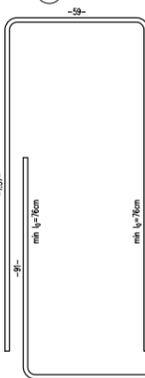
*B. B. S. Hage*

Bauherr: Max Bögl	Projekt Nr.: 21683
Bauvorhaben: Windkraftanlage	Blattgr.: .594*.42
Bauteile: Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0150830 threaded bar with heatshrink for transition piece	Maßstab: 1:50
erst.: Moos. Dat.: 22.07.2019	Boegl-Planbezeichnung
gepr.: Reitensp. Dat.: 22.07.2019	Land Turmtyp Ringtyp Segment Besonderheit Planart Index
freig.: Betz Dat.: 22.07.2019	DE E20 AE1 HV 2 Schalplan a
"ENERCON"-Planbezeichnung	D0867763-0

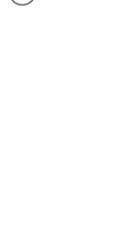
Max-Bögl-Urheberrechte: An diesem Dokument behalten wir uns jegliche gesetzlichen Urheberrechte und sonstigen Immaterialrechte vor. Ohne unsere vorangehende Einzelzustimmung darf diese Unterlage weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden oder in einer anderen Weise außerhalb des dem Dokument zugrundeliegenden Projekts, mit uns bestehenden Vertragsverhältnisses verwendet werden. Insbesondere untersagen wir eine Verwendung außerhalb des dem Dokument zugrundeliegenden Projekts, sowie eine Verwendung innerhalb des zugrundeliegenden Projekts bezüglich ausschließlich Dritte betreffende Leistungsbereiche. Max Bögl's Copyright Notice: We reserve all copyrights and all other intellectual property rights to this document. Without our prior written and individual permission, this document may neither be reproduced nor disclosed to third parties nor be used in any other way than within the underlying contractual relationship with us. In particular, we prohibit the use of this document for purposes other than for the underlying project as well as the use for service areas solely concerning third parties within the underlying project.

**HINWEIS SCHWEIßARBEITEN:**  
 Alle Schweißarbeiten an Bewehrungsstäben sind nach DIN EN ISO 17660-1 und DIN EN ISO 17660-2 für Bewehrung auszuführen! Sonstige Schweißarbeiten sind nach DIN EN 1993-1-8 für Stahlbau allgemein auszuführen!  
**Note for welding work:**  
 All welding works at reinforcement bars have to be done according to DIN EN ISO 17660-1 and DIN EN ISO 17660-2! Other welding works have to be done according to DIN EN 1993-1-8!

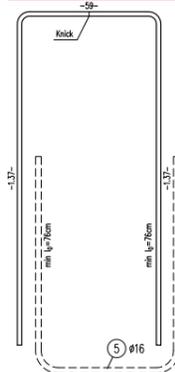
3 84#16, L=3.33m



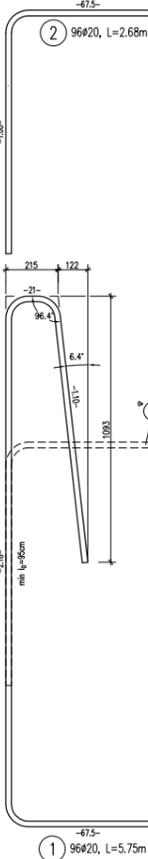
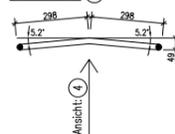
5 96#16, L=2.41m



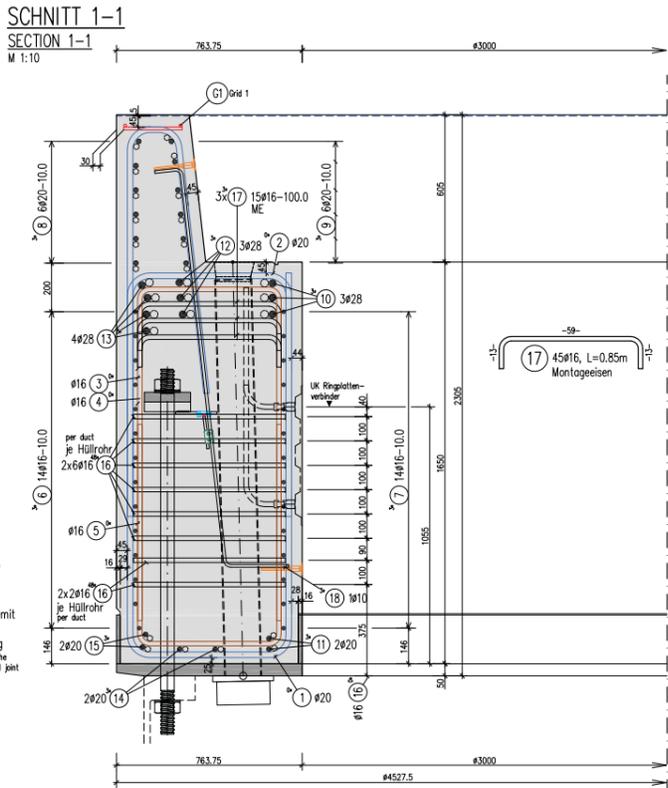
Ansicht: 4 12#16, L=3.33m  
 Verlegung bei den Hüllrohren 1, 2, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 & 24



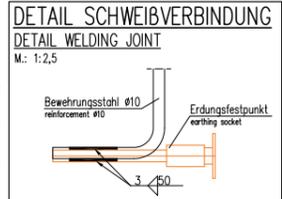
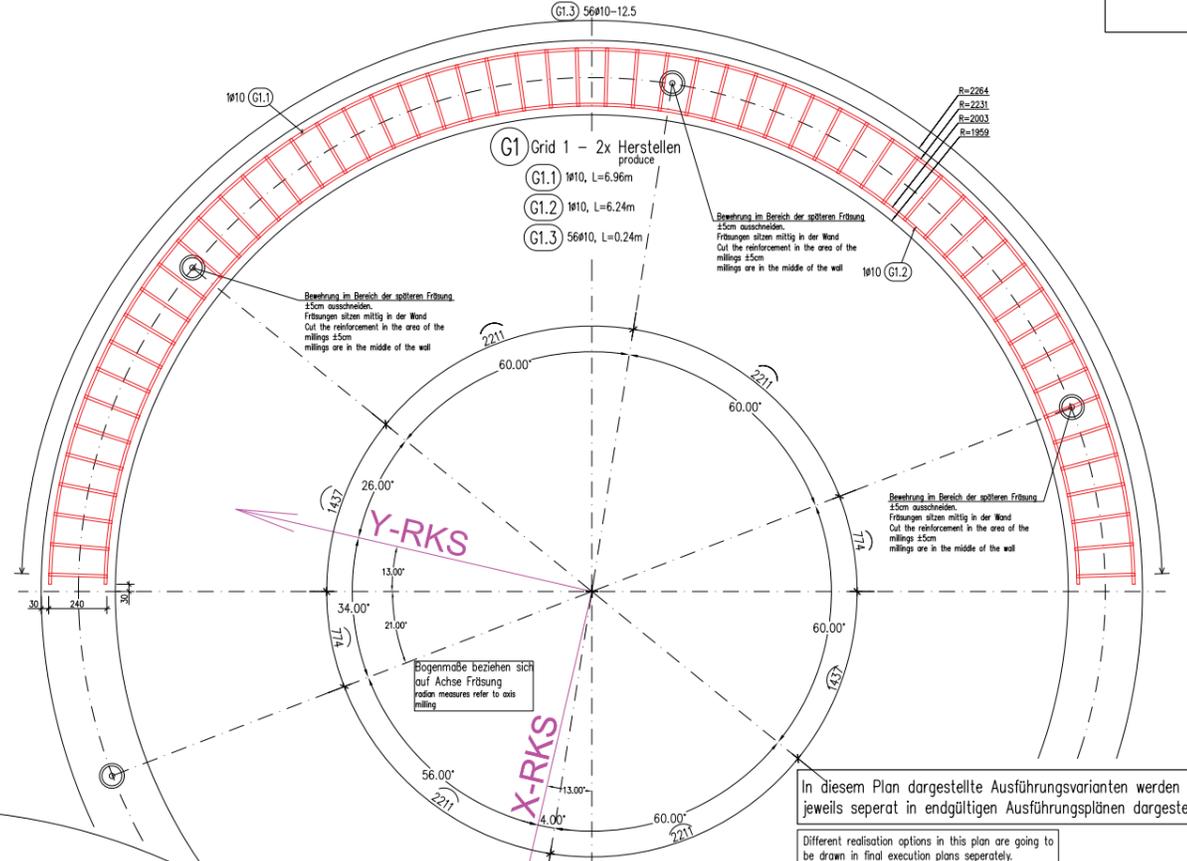
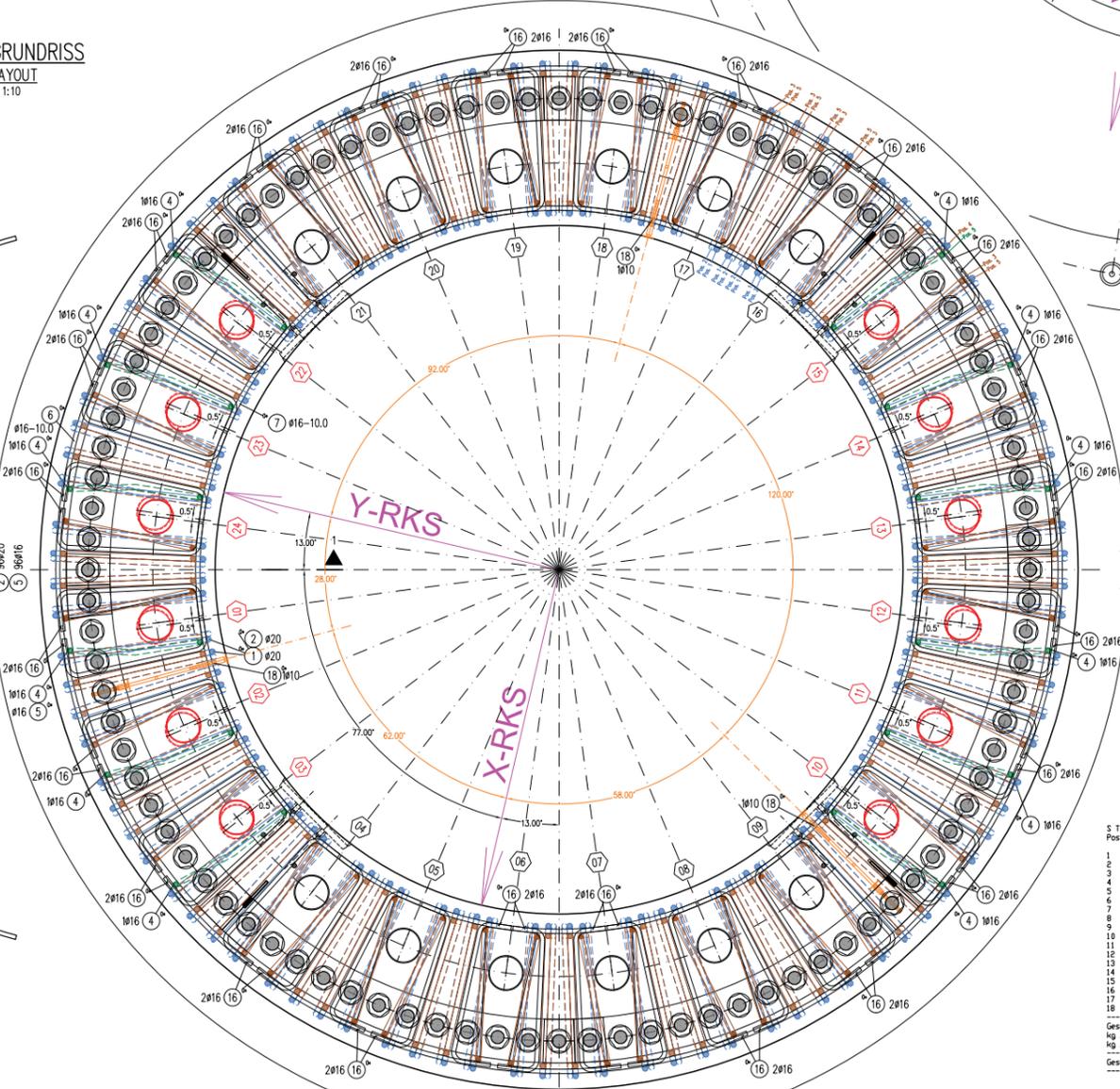
Draufsicht: 4



18 3#10, L=2.03m  
 Schweißen der Pos. (18) mit Erdungsfestpunkt, siehe Detail Schweißverbindung für die Pos. (18) to the earthing socket see detail welded joint



GRUNDRISS LAYOUT  
 M: 1:10



**ACHTUNG:**  
 Die Hüllrohre für die Spanglieder 01, 02, 03, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 und 24 im Übergangsstück werden nur an der UK des Hüllrohraustrittes um 0,5° verdreht. Oberkante des Hüllrohres wird nicht verdreht.  
 Attention:  
 Duct in adapter for tendon 01, 02, 03, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 and 24 will be rotated by 0,5° only at lower edge of duct. Top edge of duct won't be rotated.

Zement: cement.  
 Bezeichnung: CEM I 52,5R  
 description:

Reviewed by TÜV SÜD

Pos.	Stk.	d	Betonstahl: B500B	Bauartikel: FT
G1.1	1	10	6.905	6.905
G1.2	1	10	6.240	6.240
G1.3	56	10	0.240	13.440
Gesamtstangen			26.535	
kg / m			D10 0.617	
kg / d			16.534	
Gesamtgewicht (kg)			16.424	311951:02-d Rev.2 B28

Pos.	Stk.	d	Länge	D10	D16
1	96	20	5.745		551.520
2	96	20	2.675		
3	94	16	3.330		
4	12	16	3.330		
5	96	16	2.410		
6	42	16	3.460		
7	42	16	4.160		
8	18	20	5.530		
9	18	20	5.530		
10	9	20	5.240		
11	6	20	4.300		
12	9	20	5.680		
13	12	20	6.500		
14	6	20	5.280		
15	6	20	5.650		
16	304	16	0.245		
17	45	16	0.850		362.880
18	3	10	2.530		38.250
Gesamtstangen			6.890	1356.210	1195.380
kg / m			D10 0.617	D16 1.580	D20 4.830
kg / d			3.758	2142.812	2730.289
Gesamtgewicht (kg)			5701.050		

Zugehörige Pläne	Associated drawings
Plan Nr.:	Planbezeichnung
DE_E20_001_XI_X_Ubersicht	Übersichtsansicht Gesamtumriss
DE_E20_AE1_XI_X_Schalplan	Schalplan Übergangsstück AE1
DE_E20_AE1_HV_1_Schalplan	Einbauteile fuer Übergangsstück AE1
DE_E20_AE1_HV_2_Schalplan	Einbauteile fuer Übergangsstück AE1

Biege- und Verlegeanweisung	
Bending- and installation instruction nach/according EC2 + NA	
Mindestbiegeradius / Minimum mandrel diameter	
Stahlsorten / steel grades	Bogenmaß / Mandrel diameter
> 10 mm und > 12	1000
> 10 mm und > 12	1000
< 10 mm und < 12	1000

Baustoffe	
letzte Stahlposition / reinforcement steel position	Betonstahl: B500B / reinforcement steel: B500B
letzte Mutterposition / last mesh position	Betonstahlgitterklasse: C100/15+ / Concrete grid class: C100/15+
Betondeckung [mm] / concrete cover	Equivalenzklasse / Cover class: C20/25
min	max
innen	außen
10	10
10	10
10	10
10	10

ENNERCON Windenergieanlage		ENNERCON wind turbine generator	
EP3-110-160-ES-C01	E-130 EP3-110-160-ES-C01	EP3-110-160-ES-C01	E-130 EP3-110-160-ES-C01
DIB 2012 WZ.2 / IEC WZ18A	DIB 2012 WZ.2 / IEC WZ18A	DIB 2012 WZ.2 / IEC WZ18A	DIB 2012 WZ.2 / IEC WZ18A

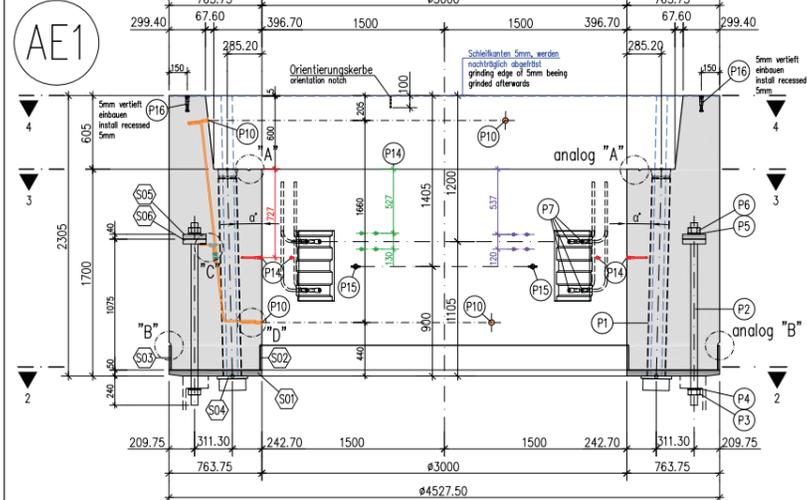
**MAX BÖGL**  
 Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr: Max Bögl  
 Bauvorhaben: Windkraftanlage  
 Bauteile: Bewehrung Übergangsstück AE1 (SUSPA)

Projekt Nr.: 21683  
 Blattgr.: 84x119m  
 Maßstab: 1:10; 1:3

erst. Reg. [Date] Dat.: 29.07.2019  
 spez.: K. Oesen [Date] Dat.: 29.07.2019  
 Fertigung: [Date] Dat.: 30.07.2019

**SNITT 1-1**  
SECTION 1-1  
M: 1:20

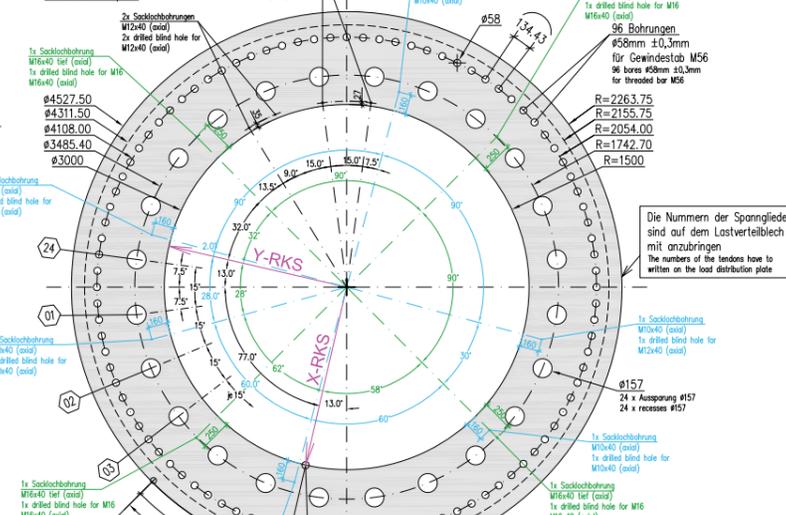


**Einbautoleranz der Hüllrohre in radialer Richtung:**  
Installation tolerance of the ducts in radial direction:  
 $1,32\% \pm 1,54\%$

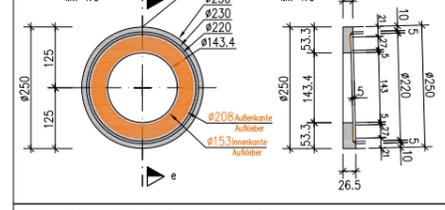
**CONCRETE:**  
Beton:  
Volumen: 16,20 m<sup>3</sup>  
Gewicht: 40,50 to.

**COMPLETE WEIGHT: CONCRETE + STEEL:**  
GESAMTGEWICHT: Beton + Stahl:  
Gesamtgewicht: 56 to.

**S01 Lastverteilblech**  
load distribute plate



**S04 Keilplatte**  
wedge plate  
M: 1:5

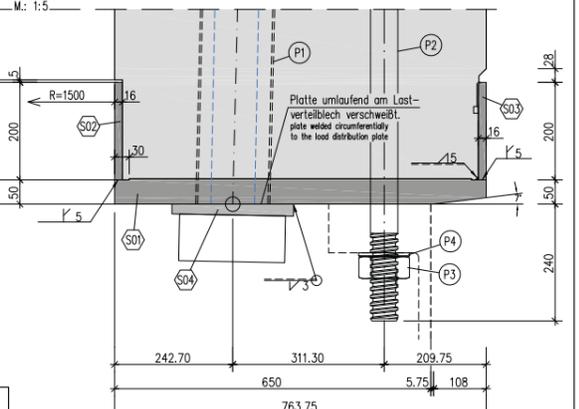


Keilplatte S04 kommt bei allen Spangliedern zum Einsatz:  
wedge plate S04 is installed on all tendons:

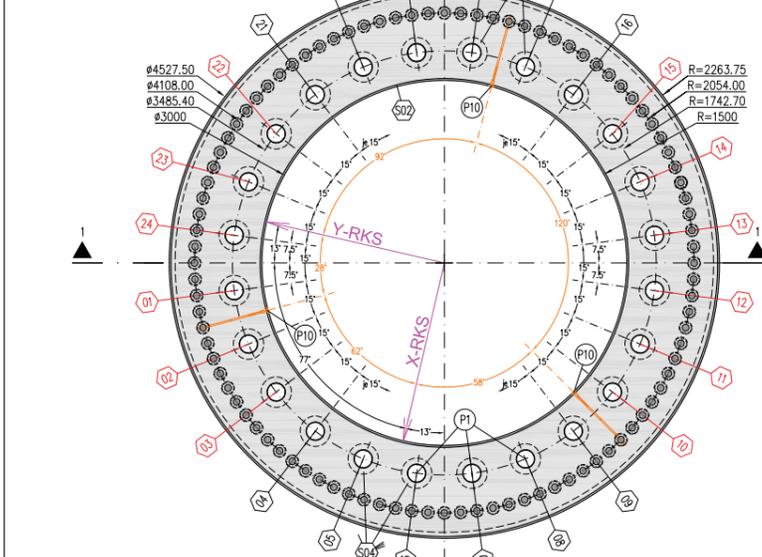
Kerbe an der kleinsten Plattendicke (d=20mm) anbringen. Diese Kerbe muss zum Mittelpunkt des Uebergangsstueckes ausgerichtet werden.  
install notch at the thinnest plate thickness (d=20mm). The notch has to be oriented to the centre of forework transition piece

Klebefolie 24x herstellen und vor der Lackierung auf die Keilplattenoberseite anbringen.  
produce adhesive foil 24 times and place them on the top of the wedge plates before coating them.

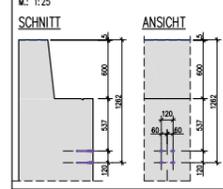
**DETAIL KOPFAUSBILDUNG**  
DETAIL TOP OF THE RING  
M: 1:5



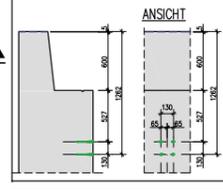
**SNITT 2-2**  
SECTION 2-2  
M: 1:20



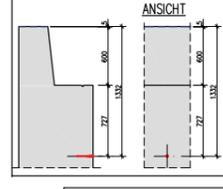
**Schnitt f-f**  
section f-f  
M: 1:25



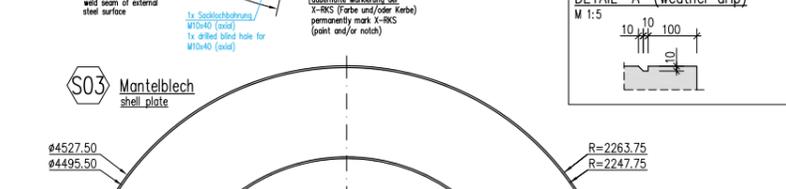
**Schnitt g-g**  
section g-g  
M: 1:25



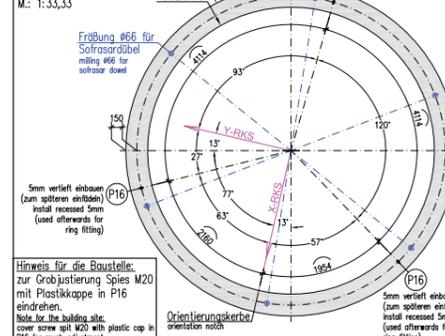
**Schnitt h-h**  
section h-h  
M: 1:25



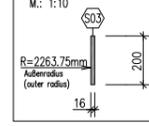
**DETAIL "A" (Tropfnase)**  
DETAIL "A" (weather drip)  
M: 1:5



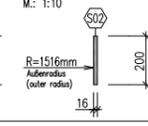
**SNITT 4-4**  
SECTION 4-4  
M: 1:33,33



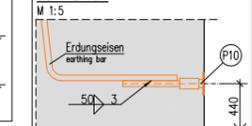
**SNITT a-a**  
SECTION a-a  
M: 1:10



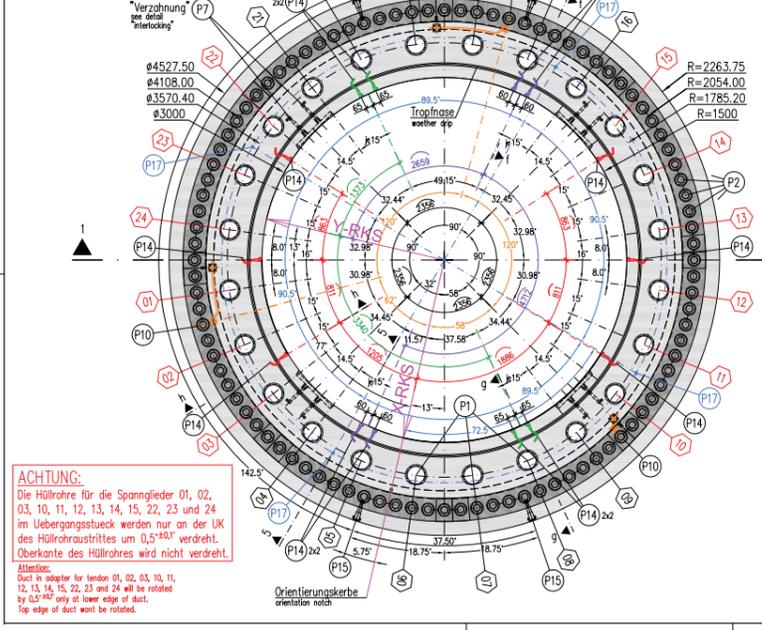
**SNITT b-b**  
SECTION b-b  
M: 1:10



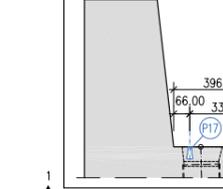
**DETAIL "D"**  
DETAIL "D"  
M: 1:5



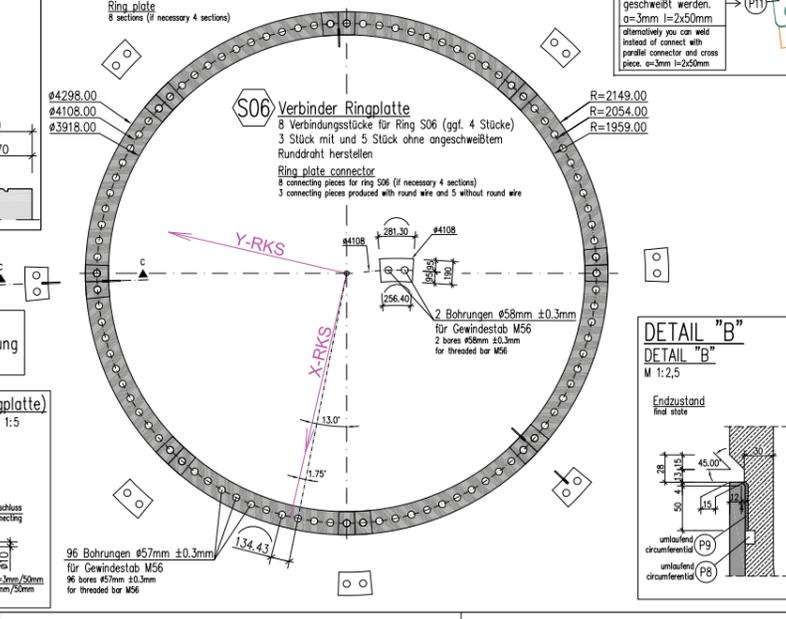
**SNITT 3-3**  
SECTION 3-3  
M: 1:20



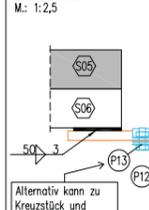
**SNITT 5-5**  
Section 5-5  
M: 1:10



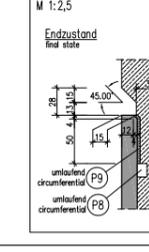
**S05 Ringplatte**  
Ring plate  
8 Teilstuecke (ggf. 4 Teilstuecke)  
8 sections (if necessary 4 sections)



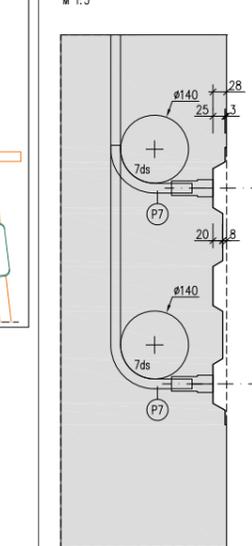
**DETAIL "C"**  
DETAIL "C"  
M: 1:2,5



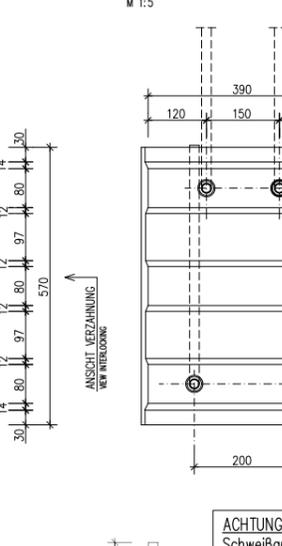
**DETAIL "B"**  
DETAIL "B"  
M: 1:2,5



**DETAIL INTERLOCKING**  
DETAIL VERZÄHNUNG  
M: 1:5



**VIEW INTERLOCKING**  
ANSICHT VERZÄHNUNG  
M: 1:5



In diesem Plan dargestellte Ausführungsvarianten werden jeweils separat in endgültigen Ausführungsplänen dargestellt.  
Different realisation options in this plan are going to be drawn in final execution plans separately.

**ACHTUNG:**  
Die Hüllrohre für die Spanglieder 01, 02, 03, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 und 24 im Uebergangsstueck werden nur an der UK des Hüllrohrstrittes um 0,5° verdreht. Oberkante des Hüllrohres wird nicht verdreht.

Duct in adapter for tendons 01, 02, 03, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 and 24 will be rotated by 0,5° only at lower edge of duct. Top edge of duct won't be rotated.

**Max Bögl**  
Fortschritt baut man aus Ideen.

Projekt Nr.: 21683  
Bauherr: Max Bögl  
Bauhöhe: 84,119m  
Bauteile: Schälplan Uebergangsstueck/transition piece  
AE1 (SUSPA)  
Maßstab: 1:25; 1:20; 1:3; 1:5; 1:10

erst: Reg. [Date: 24.07.2019] Boegl-Planbezeichnung  
gepr.: V. Deser [Date: 24.07.2019] (Land) (Umgab.) (Richtig) (Sorgfältig) (Planat) (Index)  
freigegeben: [Date: 24.07.2019] DE E20 AE1 K1 X Schälplan

3119511-1 Rev.2  
Reviewed by TÜV SÜD  
2119511-1 Rev.4  
See Report under  
Muster: 2020-03-20  
In bautechnischer Hinsicht geprüft.  
TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Wind Turbines  
20.04.2020  
7ds

# 3-TEILIGE-RINGE

## 3-PARTED-RINGS

### ANSICHT

#### VIEW

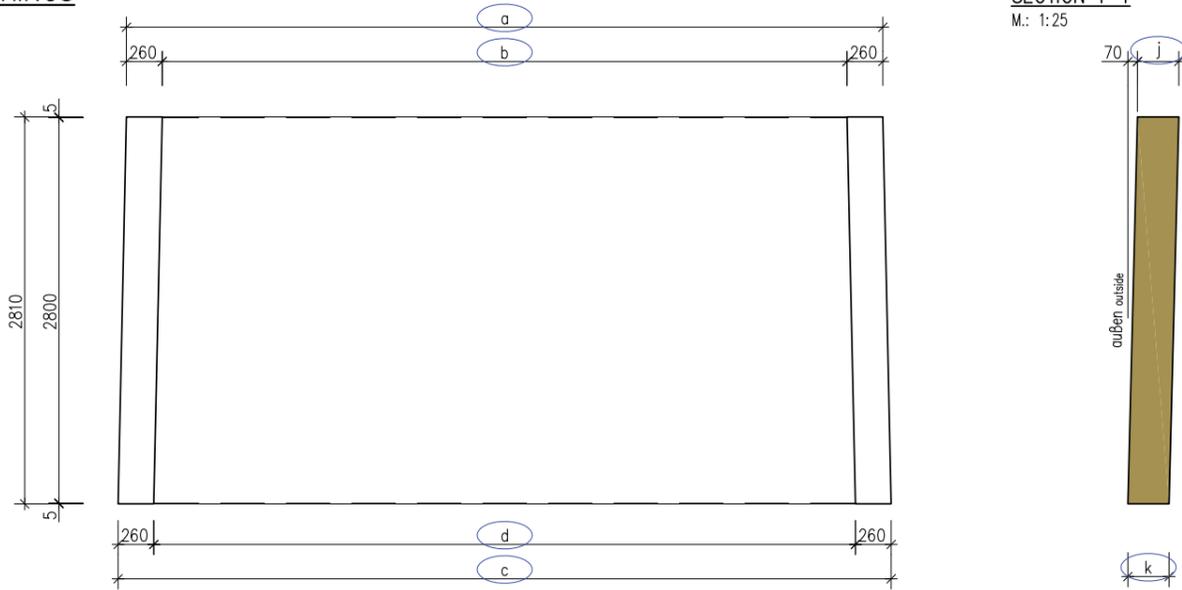
M.: 1:25

Dargestellt ist Ring (C14)  
It is shown ring

### SCHNITT 1-1

#### SECTION 1-1

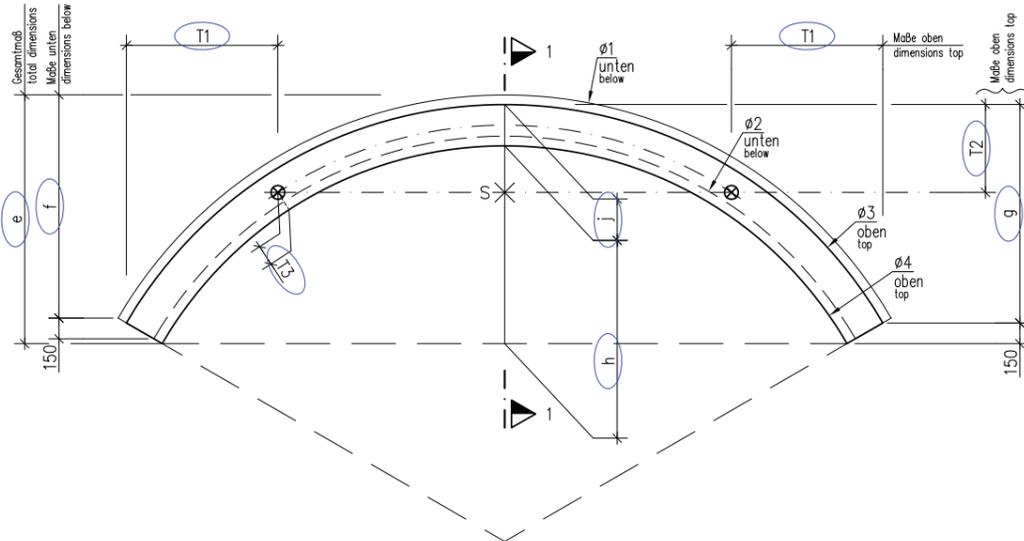
M.: 1:25



### DRAUFSICHT

#### TOP VIEW

M.: 1:25

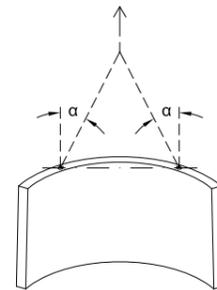


Ringbez. Ringdenom.	Höhe	Ø_AUSS.		Teilung	Ø1 Unten	Ø2 Unten	Ø3 Oben	Ø4 Oben	a	b	c	d	e	f	g	h	j	k	T1	T2	T3	pro / per Segment		pro / per Ring	
		Ø_Over	Ø_Under																			Betonvol.	Gewicht	Betonvol.	Gewicht
AD	2300	4528.0	4528.0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55.5	-	55.5
C01	2800	4527.5	4667.5	3	4667.8	4667.8	4527.3	3927.3	3920.7	3401.1	4042.4	3522.8	1352.1	1166.9	1131.8	991.8	300.0	300.0	820.4	483.7	150.0	3.8	9.5	11.3	28.4
C02	2800	4667.5	4807.5	3	4807.8	4207.8	4667.3	4067.3	4042.0	3522.3	4163.0	3644.0	1387.1	1201.9	1166.8	1016.8	300.0	300.0	841.5	495.9	150.0	3.9	9.8	11.7	29.3
C03	2800	4807.5	4947.5	3	4947.8	4347.8	4807.3	4207.3	4182.2	3643.8	4284.9	3765.3	1422.1	1236.9	1201.8	1051.8	300.0	300.0	862.6	508.1	150.0	4.0	10.1	12.1	30.2
C04	2800	4947.5	5087.5	3	5087.8	4487.8	4947.3	4347.3	4214.4	3764.8	4406.1	3886.5	1457.1	1271.9	1236.8	1086.8	300.0	300.0	883.7	520.3	150.0	4.1	10.4	12.4	31.1
C05	2800	5087.5	5227.5	3	5227.8	4627.8	5087.3	4487.3	4452.7	3886.1	4527.4	4007.7	1482.1	1306.9	1271.8	1121.8	300.0	300.0	904.8	532.5	150.0	4.3	10.7	12.8	32.0
C06	2800	5227.5	5367.5	3	5367.8	4767.8	5227.3	4627.3	4592.9	4007.3	4648.6	4129.0	1527.1	1341.9	1306.8	1156.8	300.0	300.0	925.9	544.7	150.0	4.4	11.0	13.2	33.0
C07	2800	5367.5	5507.5	3	5507.8	4907.8	5367.3	4767.3	4732.8	4128.6	4769.9	4250.2	1562.1	1376.9	1341.8	1191.8	300.0	300.0	947.1	556.9	150.0	4.5	11.3	13.6	33.9
C08	2800	5507.5	5647.5	3	5647.8	5047.8	5507.3	4907.3	4872.9	4248.8	4891.1	4371.5	1597.1	1411.9	1376.8	1226.8	300.0	300.0	968.2	569.0	150.0	4.6	11.6	13.9	34.8
C09	2800	5647.5	5787.5	3	5787.8	5187.8	5647.3	5047.3	4912.7	4371.3	5012.3	4462.7	1632.1	1446.9	1411.8	1261.8	300.0	300.0	989.4	581.2	150.0	4.8	11.9	14.3	35.7
C10	2800	5787.5	5927.5	3	5927.8	5327.8	5787.3	5187.3	5071.9	4492.3	5133.0	4614.0	1667.1	1481.9	1446.8	1296.8	300.0	300.0	1010.5	593.4	150.0	4.9	12.2	14.7	36.7
C11	2800	5927.5	6067.5	3	6067.8	5467.8	5927.3	5327.3	5153.1	4613.5	5254.8	4735.2	1702.1	1516.9	1481.8	1331.8	300.0	300.0	1031.7	605.6	150.0	5.0	12.5	15.0	37.6
C12	2800	6067.5	6207.5	3	6207.8	5607.8	6067.3	5467.3	5234.4	4734.8	5376.1	4856.5	1737.1	1551.9	1516.8	1366.8	300.0	300.0	1052.8	617.7	150.0	5.1	12.8	15.4	38.5
C13	2800	6207.5	6347.5	3	6347.8	5747.8	6207.3	5607.3	5315.6	4856.0	5497.3	4977.7	1772.1	1586.9	1551.8	1401.8	300.0	300.0	1074.0	629.9	150.0	5.3	13.1	15.8	39.4
C14	2800	6347.5	6487.5	3	6487.8	5887.8	6347.3	5747.3	5436.9	4977.3	5598.9	5078.1	1807.1	1621.9	1586.8	1436.8	300.0	300.0	1096.2	642.0	150.0	5.4	13.5	16.1	40.4
C15	2800	6487.5	6627.5	3	6627.8	6027.8	6487.3	5887.3	5618.1	5098.9	5739.8	5220.2	1842.1	1656.9	1621.8	1471.8	300.0	300.0	1116.3	654.2	150.0	5.5	13.8	16.5	41.3
C16	2800	6627.5	6767.5	3	6767.8	6167.8	6627.3	6027.3	5739.4	5219.8	5861.0	5341.4	1877.1	1691.9	1656.8	1506.8	300.0	300.0	1137.5	666.3	150.0	5.6	14.1	16.9	42.2
C17	2800	6767.5	6907.5	3	6907.8	6307.8	6767.3	6027.3	5862.0	5341.0	5982.3	5462.7	1912.1	1726.9	1691.8	1541.8	300.0	300.0	1158.7	678.5	150.0	5.8	14.4	17.3	43.1
C18	2800	6907.5	7047.5	3	7047.8	6447.8	6907.3	6307.3	5981.9	5462.2	6103.5	5583.9	1947.1	1761.9	1726.8	1576.8	300.0	300.0	1179.9	690.6	150.0	5.9	14.7	17.6	44.1
C19	2800	7047.5	7187.5	3	7187.8	6587.8	7047.3	6447.3	6161.1	5583.5	6224.8	5705.2	1982.1	1796.9	1761.8	1611.8	300.0	300.0	1201.1	702.8	150.0	6.0	15.0	18.0	45.0
C20	2800	7187.5	7327.5	3	7327.8	6727.8	7187.3	6587.3	6224.3	5704.7	6346.0	5826.4	2017.1	1831.9	1796.8	1646.8	300.0	300.0	1222.3	714.9	150.0	6.1	15.3	18.4	45.9
C21	2800	7327.5	7467.5	3	7467.8	6867.8	7327.3	6727.3	6345.6	5826.0	6467.3	5947.6	2052.1	1866.9	1831.8	1681.8	300.0	300.0	1243.5	727.1	150.0	6.2	15.6	18.7	46.8
C22	2800	7467.5	7607.5	3	7607.8	7007.8	7467.3	6867.3	6466.8	5947.2	6588.5	6068.9	2087.1	1901.9	1866.8	1716.8	300.0	300.0	1264.7	739.2	150.0	6.4	15.9	19.1	47.7
C23	2800	7607.5	7747.5	3	7747.8	7147.8	7607.3	7007.3	6588.1	6068.5	6709.7	6190.1	2122.1	1936.9	1901.8	1751.8	300.0	300.0	1285.9	751.4	150.0	6.5	16.2	19.5	48.7
C24	2800	7747.5	7887.5	3	7887.8	7287.8	7747.3	7147.3	6709.3	6189.0	6831.0	6311.4	2157.1	1971.9	1936.8	1786.8	300.0	300.0	1307.1	763.5	150.0	6.6	16.5	19.8	49.6
C25	2800	7887.5	8027.5	3	8027.8	7427.8	7887.3	7287.3	6830.6	6309.0	6952.2	6432.6	2192.1	2006.9	1971.8	1821.8	300.0	300.0	1328.3	775.7	150.0	6.7	16.8	20.2	50.5
C26	2800	8027.5	8167.5	3	8167.8	7567.8	8027.3	7427.3	6951.8	6432.2	7073.5	6553.9	2227.1	2041.9	2006.8	1856.8	300.0	300.0	1349.5	787.8	150.0	6.9	17.1	20.6	51.4
C27	2800	8167.5	8307.5	3	8307.8	7707.8	8167.3	7567.3	7073.0	6553.4	7194.7	6675.1	2262.1	2076.9	2041.8	1891.8	300.0	300.0	1370.7	799.9	150.0	7.0	17.5	20.9	52.4
C28	2800	8307.5	8447.5	3	8447.8	7847.8	8307.3	7707.3	7194.3	6674.7	7315.0	6796.3	2297.1	2111.9	2076.8	1926.8	300.0	300.0	1391.9	812.1	150.0	7.1	17.8	21.3	53.3
C29	2800	8447.5	8587.5	3	8587.8	7987.8	8447.3	7847.3	7315.5	6796.9	7435.2	6917.6	2332.1	2146.9	2111.8	1961.8	300.0	300.0	1413.1	824.2	150.0	7.2	18.1	21.7	54.2
C30	2800	8587.5	8727.5	3	8727.8	8127.8	8587.3	7987.3	7435.8	6917.2	7558.3	7038.8	2367.1	2181.9	2146.8	1996.8	300.0	300.0	1434.4	836.3	150.0	7.4	18.4	22.1	55.1

ANMERKUNG Alle Maßangaben beziehen sich auf das Segment ohne Tür und/oder Lüftungsausparung  
NOTE All dimensions refer to the segment without door and/or ventilation opening



### DETAIL SEGMENTHUB DETAIL SEGMENT LIFT



Für den Segmenthub dürfen ausschließlich die Kugelhauptanker verwendet werden!  
Max. zulässiger Schrägzug (α) ≤ 9.00°  
The segment lift may only be done by using the spherical head anchors!  
Maximum allowable diagonal pull (α) ≤ 9.00°

### HINWEISE:

- Einbauteile & Transportanker (auch Erdung) siehe separater Einbauteilplan

### NOTES:

- Installation parts & transport anchors (also earthing) see separate installation parts plan

Maße in "blau" werden in Tabelle angegeben  
Tabelle gültig für alle Ringe

TYPENLISTE... 3119511-1-e Rev.2  
5 Jahre... 12.09.2024  
Reviewed by TÜV SÜD

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

See Project sheet

3119511-1-d Rev.4

20.03.2020

München

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

Prüfamt für Standsicherheit

von Windenergieanlagen

Der Besitzer: B- P

Der Leiter: S/M

**MAX BÖGL**  
Fortschritt baut man aus Ideen.

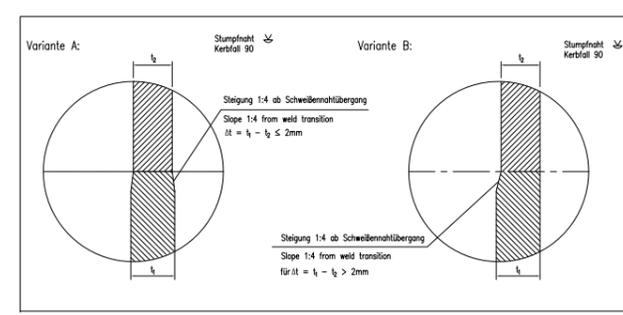
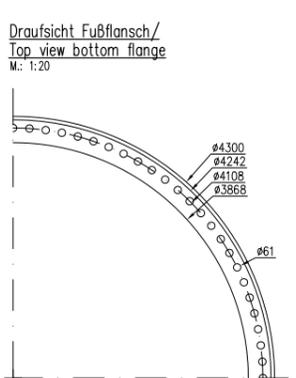
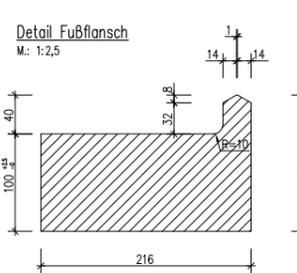
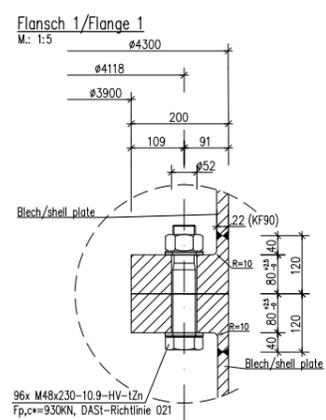
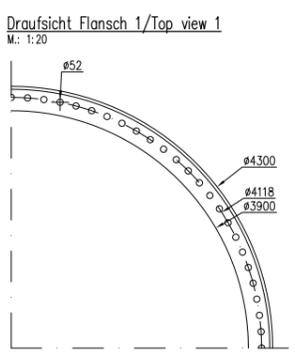
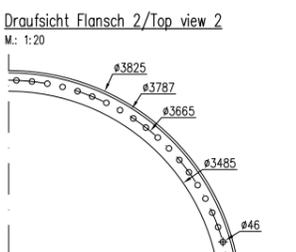
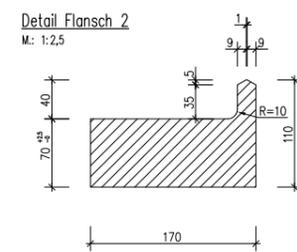
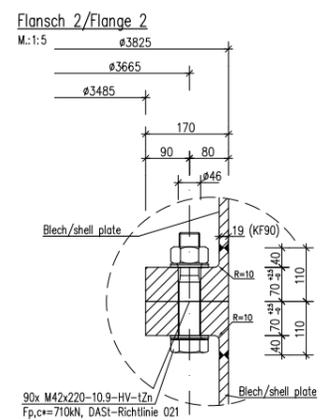
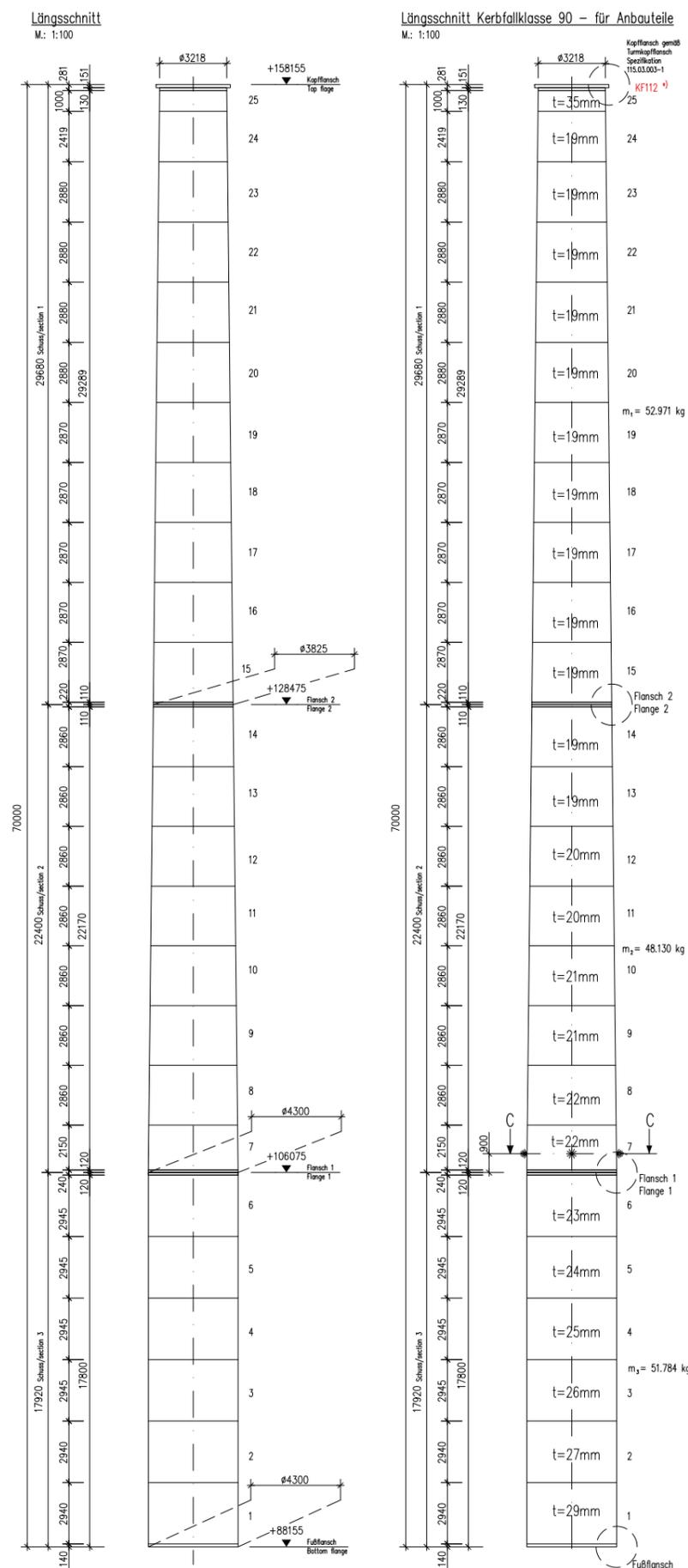
Bauherr: Max Bögl	Projekt Nr.: 21683
Bauvorhaben: Windkraftanlage wind turbine generator	Blatt: .84-.59m
Bauteile: Schalplan Rohteile C-Ringe	Maßstab: 1:25
formwork plan row part C-rings	

erst.: Moos. Dat.: 22.07.2019 Boegl-Planbezeichnung  
 gepr.: Reitemp. Dat.: 22.07.2019 Land Turntyp Ringtyp Segment Besonderheit Planart Index  
 freig.: Betz. Dat.: 22.07.2019 DE E20 095 XX X Schalplan b

\*ENERCON\*-Planbezeichnung D0867765-1

Haftung: Bauteilhersteller. Bei einem Bauteilversagen ist derjenige Bauteilhersteller und sein Hersteller (Bauteilhersteller) für die Haftung verantwortlich. Die Haftung des Bauteilherstellers ist nicht von der Haftung des Bauwerkes befreit. Der Bauteilhersteller ist für die Haftung des Bauteilherstellers verantwortlich. Die Haftung des Bauteilherstellers ist nicht von der Haftung des Bauwerkes befreit. Der Bauteilhersteller ist für die Haftung des Bauteilherstellers verantwortlich.

Softcod-Dateiname: DE\_E20\_095\_XX\_X\_Schalplan



**Turmkopfflansch gemäß Enercon Turmkopfflansch Spezifikation 115.03.003-1.**  
 Schweißnähte: Allgemein Längs-, Quernähte und tragende Anbauteile gem. DIN EN 1993-1-9.  
 Welds: generally longitudinal and circular weldings and structural components according to DIN EN 1993-1-9.

Sonstige Bleche und Anbauteile: KF90; Anschweißbutze,  $\phi \leq 40\text{mm}$ , S355

Mindestabstand der Anbauteile zu anderen Schweißnähten: 100mm.  
 Hauptlängsnähte der Stahlturnwand um mind. 90° versetzen.

Other sheets and structural components: KF90; welded bushes,  $\phi \leq 40\text{mm}$ , S355

minimum distance of attachments to other weldings: 100mm.  
 Main longitudinal weldings of the steel wall at 90° offset.

EG-Zertifikat EN 1090-2 EXC 3  
 EC-Zertifikat EN 1090-2 EXC 3

Einsetztemperatur T=-40°C.  
 Operating temperatur T=-40°C.

Stahlturnwand: - Unrundheit DIN EN 1993-1-6, Herstelltoleranz-Qualitätsklasse B.  
 Steel tower wall: - Ovality DIN EN 1993-1-6, manufacturing tolerance-quality class B.

- Vorbeulen DIN EN 1993-1-6, Herstelltoleranz-Qualitätsklasse B.  
 - Buldge DIN EN 1993-1-6, manufacturing tolerance-quality class B.

- Toleranzen für Grobbleche nach EN 10029 Toleranzklasse B.  
 - Tolerances for steel plates according to EN 10029 tolerance class B.

- Oberflächenbeschaffenheit nach DIN EN 10163-2 Klasse B2.  
 - Surface finish according to DIN EN 10163-2 class B2.

Flansch: - Ebenheitsabweichung über gesamten Umfang  $\leq 2,0\text{mm}$ .  
 Flange: - Flatness deviation over circumference  $\leq 2,0\text{mm}$ .

- Kurzwelligkeit  $\leq 1,0\text{mm}/30'$   
 - Short waviness  $\leq 1,0\text{mm}/30'$

- Neigungen  $\phi_s$  der Flanschaußenflächen nach dem Vorspannen  $\leq 2\%$   
 - Taper  $\phi_s$  of flange outer surface after pre-loading  $\leq 2\%$

Sichtkontrolle der Schweißnähte: 100%.  
 Visual inspection of welds: 100%.

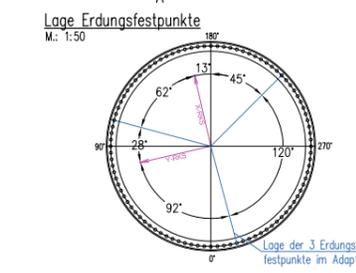
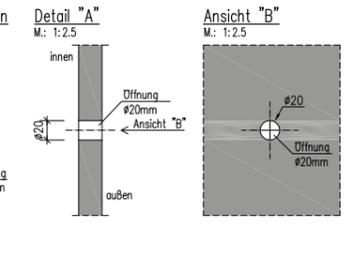
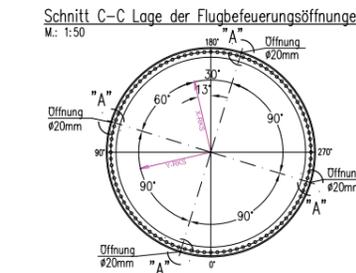
Schweißnähte nach DIN EN ISO 5817 Bewertungsgruppe B.  
 Welds in accordance with DIN EN ISO 5817 level B.

Ultraschallkontrolle der Schweißnähte: Flanschnähte 100%, Stumpfnähte in Querrichtung 20%, sonstige Nähte 10%.  
 Ultrasonic inspection of welds: flange welds 100%, lateral butt welds 20%, other welds 10%.

Werkstoff: Abnahmeprüfzeugnis gem. DIN EN 10204 3.1.  
 Material: acceptance test certificate in accordance with DIN EN 10204 3.1.

Korrosionsschutz und Beschichtung: siehe separater Plan.  
 Corrosion protection and coating: see extra drawing.

Die Schweißnaht zwischen Kopfflansch und Mantelblech ist mit KF112 auszuführen.  
 The weld between head flange and steel tower shell must be executed with KF112.



ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIB 2012 WZ 2 / REC WZ IBA	ENERCON wind turbine generator E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIB 2012 WZ 2 / REC WZ IBA
---	--

Materialien/Materials		
Bauteil/ Component	Material	zusätzliche Anforderungen/ additional Requirements
Turmbliche Tower Shell Plates	DIN EN 10025-2: 2005 - S355J2+N	warm gewalzt, normalisiert (oder normalisierend gewalzt) hot rolled, normalized (or normalizing rolled)
Flansche Flanges	DIN EN 10025-3: 2005 - S355NL DIN EN 10164: 2005 - Z15	Es sind nur nahtlos gewalzte oder aus Stabstahl gebogene Flansche zulässig. Seamless Rolled (forged) or from steelbars bended Flanges are permitted only.

Temperature range		
Version	Temperatur Bereich für Normal Operation Temperature range for normal operation	Temperatur Bereich für Transport/Lagerung/Silstand Temperature range for transport/storage/standstill (structural)
- Standard version (NC)	(-30°C to +70°C) Umgebungstemperatur/ambient temperature	(-30°C to +50°C) Umgebungstemperatur/ambient temperature

**MAX BÖGL**  
 Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr: Max Bögl  
 Bauvorhaben: Windkraftanlage wind turbine generator  
 Bauteile: Übersichtsplan Stahlturn  
 Projekt Nr.: 21683  
 Blatt: 1.19x.84m  
 Maßstab: 1:100

erst: L. Lerzer [Date: 23.07.2019]  
 gepr.: V. Deser [Date: 25.07.2019]  
 freige: B. [Date: 25.07.2019]

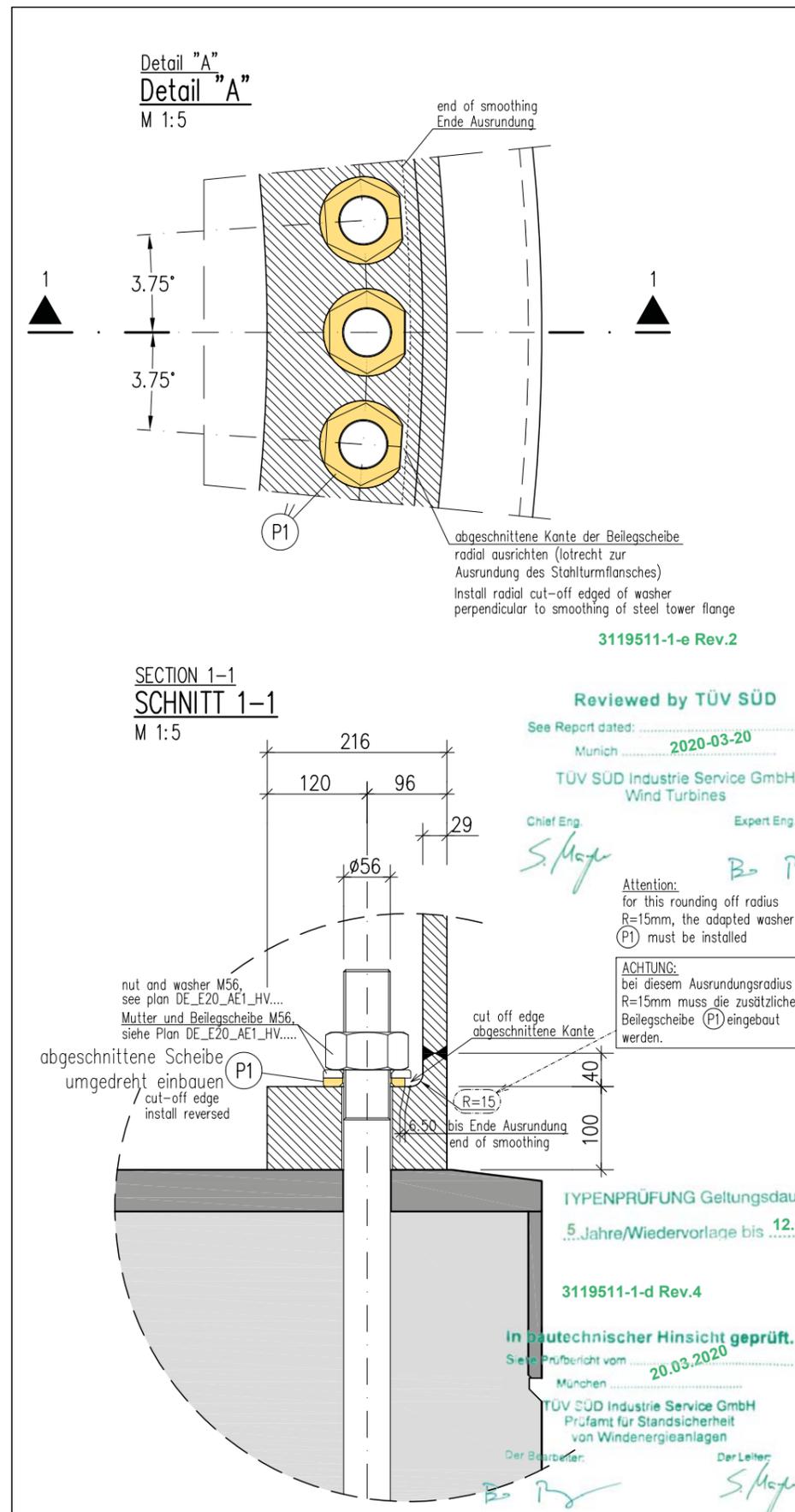
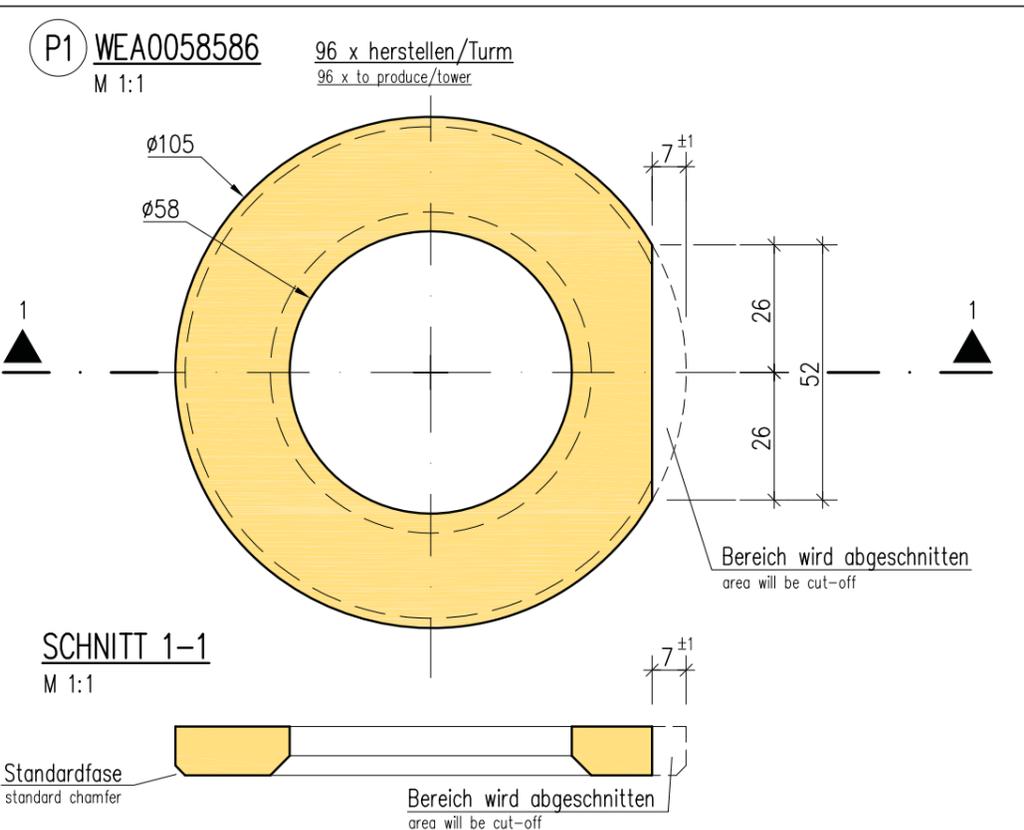
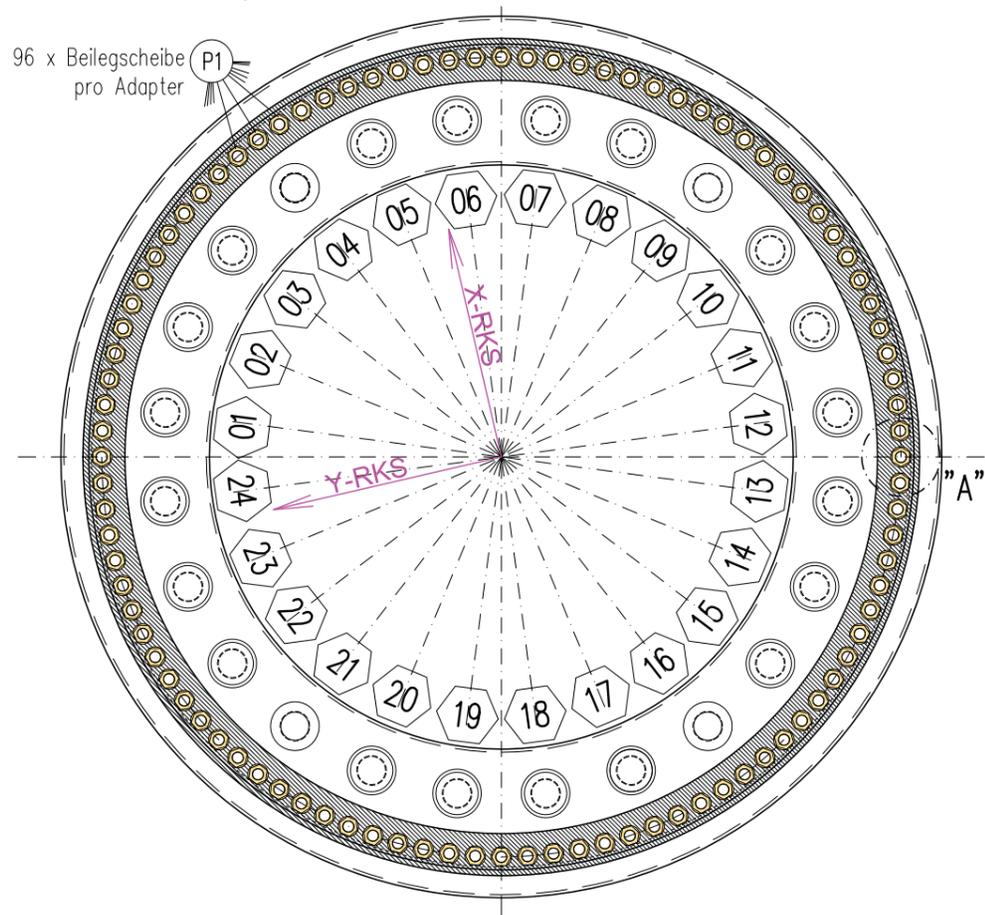
Boegl-Planbezeichnung: 10867759-3

3119511-1-e Rev.2  
 Reviewed by TÜV SÜD  
 3119511-1-d Rev.4  
 See Report 2020  
 2020-03-20

In bautechnischer Hinsicht geprüft.  
 TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
 Wind Turbines

Connection steeltower E20 with transition piece  
Anschluss Stahlturm E20 mit Uebergangsstueck

Draufsicht Adapter



Attention:  
For the first 30 towers, which were manufactured according to plan DE\_E20\_022\_XX\_X\_Ubersicht\_h, the adapted washers (P1) must be installed

**ACHTUNG:**

Bei den ersten 30 Türmen, bei denen der Stahlturm nach Plan DE\_E20\_022\_XX\_X\_Ubersicht\_h gefertigt wurde, müssen zusätzlich die angepassten Beilegscheiben (P1) eingebaut werden.

Einbau- und Zubehörteilliste/gilt für einen Turm					
Pos.	E-Nr.	Menge	Einheit	Bezeichnung	SAP-Nummer
P1	--	96	Stück	Scheibe DAST021 M56 flZnncI abgeschnitten	WEA0058586

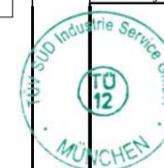
  

List of installation parts/valid for one tower					
Pos.	E-Nr.	Quantity	Unit	Description	SAP-number
P1	--	96	piece	washer DAST021 M56 flZnncI cut-off	WEA0058586

ZUGEHÖRIGE PLÄNE		ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR. :	Planbezeichnung	
DE_E20_001_XX_X_Ubersicht	Übersichtsplan Gesamturm	layout tower
DE_E20_022_XX_X_Ubersicht	Übersichtsplan Stahlturm	layout steel tower
DE_E20_AE1_HV_1_Schalplan	Gewindest. Uebergangsstueck	threaded bar for transition piece
DE_E20_AE1_HV_2_Schalplan	Gewindest. Uebergangsstueck	threaded bar for transition piece

ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA	ENERCON wind turbine generator E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA
---	--

Änderung:	Bezeichnung:	erstellt:	Datum:



Bauherr: Max Bögl	Projekt Nr.: 21683
Bauvorhaben: Windkraftanlage ENERCON	Blattgr.: .84*1.19m
Bauteile: Verankerung Stahlturm am Uebergangsst. mit zusätzlich angepassten Beilegscheiben	Maßstab: 1:25
erst.:Reg. Dat.: 13.01.2020	Boegl-Planbezeichnung
gepr.:Von Oesen Dat.: 13.01.2020	Land Turmtyp Ringtyp Segment Besonderheit Planart Index
freig.:Betz Dat.: 13.01.2020	DE E20 M015
"ENERCON"-Planbezeichnung	D0918251-0

Max-Bögl-Urheberrechtswarnung: In diesem Dokument behalten wir uns jegliche gesetzlichen Urheberrechte und sonstigen Immaterialgüterrechte vor. Ohne unsere vorherige schriftliche Zustimmung ist die Vervielfältigung dieses Dokuments durch Dritte untersagt. Insbesondere untersagen wir eine Vervielfältigung dieses Dokuments für andere als die im Dokument angegebenen Zwecke, sowie eine Vervielfältigung innerhalb des zugrundeliegenden Projekts, sowie eine Vervielfältigung für andere als die im Dokument angegebenen Zwecke. Max Bögl's Copyright Notice: We reserve all copyrights and all other intellectual property rights to this document. Without our prior written and individual permission, this document may neither be reproduced nor disclosed to third parties nor be used in any other way than within the underlying contractual relationship with us. In particular, we prohibit the use of this document for purposes other than for the underlying project as well as the use for service areas solely concerning third parties within the underlying project.



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 27.04.2020

**Prüfnummer:** 3119511-2-d Rev. 4

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung**  
Turm: E-138 EP3-HAT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-  
HAT-160-ES-C-01 (Bögl E20)  
Fundament: Flachgründung RT 2.0 ohne Spannraum mit  
und ohne Auftrieb  $\varnothing = 22,50$  m  
Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller und  
Konstruktion:** Max Bögl Wind AG  
Postfach 1120  
92301 Neumarkt

**Statische  
Berechnung:** grbv wind GmbH  
Expo Plaza 10  
30539 Hannover

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

**Geltungsdauer:** bis 12.09.2024

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:  
3119511-2-  
d\_Rev.4\_ENERCON\_E-  
138\_EP3\_(E2)-HT-160-ES.DOC

Das Dokument besteht aus  
8 Seiten.  
Seite 1 von 8

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Revision	Datum	Änderungen
0	13.09.2019	Erstfassung
1	29.11.2019	Neue Revision Dokument [10]. Dokumente [1] bis [4] behalten ihre Gültigkeit. Redaktionelle Änderungen.
2	21.01.2020	Neue Revision Dokument [10]. Dokumente [1] bis [4] behalten Gültigkeit.
3	03.04.2020	Neue Revision Dokumente [1] und [4] sowie [8] und [10]. Dokumente [2] und [3] behalten Gültigkeit.
4	27.04.2020	Neue Revision Dokument [3]. Dokumente [1], [2] und [4] behalten Gültigkeit.

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

### Inhaltsverzeichnis

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



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Statische Berechnung Windenergieanlage Enercon E138 EP3 NH 160 m – Hybridturm E20, Statische Bemessung einer Flachgründung mit  $D=22,50\text{ m}$ “, erstellt von grbv wind GmbH, 207 Seiten,  
Projekt Nr. 50180-146, Rev. 4, Datum 2020-03-20  
ENERCON Dokument Nr. D0858722-3
- [2] „Fundamentdatenblatt E-138 EP3-HT-160-ES-C-01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, Flachgründung mit und ohne Auftrieb“, erstellt von ENERCON GmbH, 7 Seiten,  
Dokument Nr. D0858723-2, Rev. 2, Datum 2019-09-10
- [3] „Schalplan Fundament  $\text{Ø}22.50\text{m}$ , ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_005\_XX\_X, Rev. b, Datum 2020-03-13  
ENERCON Dokument Nr. D0867757-1
- [4] „Bewehrung Fundament  $\text{Ø}22.50\text{m}$ , ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_006\_XX\_X, Rev. c, Datum 2020-03-20  
ENERCON Dokument Nr. D0867758-3

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [5] „Spanngliedverankerung im Fundament RT2.0 (mit 4 Ankerstangen)“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Plan Nr. M532\_b, Rev. b, Datum 2019-06-26
- [6] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 54 Seiten,  
Projekt Nr. 21683, Rev. b, Datum 2019-06-27
- [7] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 7 Seiten,  
Bericht Nr. 8116 986 268-6 D, Rev. 0, Datum 2019-07-04
- [8] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=160m, Spannglieds. „SUSPA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_001\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. f, Datum 2020-03-16  
ENERCON Dokument Nr. D0867756-4
- [9] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 154 Seiten,  
Projekt Nr. 21683-E20, Rev. d, Datum 2019-10-16  
ENERCON Dokument Nr. D0867768-2



- [10] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 und E138-EP3 E2, 160 m Nabenhöhe, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten,  
Prüfnummer: 3119511-1-d, Rev. 4, Datum 2020-03-20
- [11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 39 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [12] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 15.04.2019, Geltungsdauer bis 16.04.2021

## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken –Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /4/ DIN EN 1997-1:2009 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010
- /5/ DIN 1054:2010 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ + DIN 1054/A1:2012 and DIN 1054/A2:2015
- /6/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /7/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012



### **3. Beschreibung**

Die Hybridtürme E-138 EP3-HAT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HAT-160-ES-C-01 werden mit Spanngliedern extern vorgespannt und im kreisringförmigen Fundamentsockel verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisringförmigen Fundamentplatte mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockelring. Zwischen Turmfuß und Sockelring ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

Die Spannglieder werden oberhalb der Sockeloberkante gegen Ankerplatten vorgespannt, die mit Hilfe von Gewindestangen und einbetonierten Ankerplatten in das Fundament zurückgehängt werden.

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

Das Fundament kann wahlweise ohne Arbeitsfugen oder abschnittsweise gemäß [3] hergestellt werden.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können dem Schalplan [3] entnommen werden.

#### **3.1. Baustoffe**

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XA1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C35/45 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XA1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem	20 Spannglieder System SUSPA Draht EX-72, 72 Spannstahtdrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt gemäß [11] in Verbindung mit [12]

#### **3.2. Lastannahmen**

Die dimensionierenden Lasten am Turmfuß für die Fundamentauslegung sind in der Turmstatik [9] in Kapitel 7 angegeben. Diese Lasten wurden im Rahmen der Turmprüfung mit dem Prüfbericht [10] bestätigt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Turmprüfbericht [10] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt.

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

#### **3.3. Baugrund**

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Fundamentdatenblatt [2]  $k_{\phi, \text{dyn}} \geq 210 \text{ GNm/rad}$  und  $k_{\phi, \text{stat}} \geq 42 \text{ GNm/rad}$ .

Der anstehende Baugrund muss gemäß [2] mindestens eine Bodenpressung von 252 kN/m<sup>2</sup> (BS-P) und 258 kN/m<sup>2</sup> (BS-A) aufnehmen können (charakteristische Werte).



Der höchste für den Lastfall Auftrieb in [1] nachgewiesene Wasserstand liegt bei 0,73 m über Fundamentunterkante. Bei minimaler Überschüttung gemäß Variante II in [3] darf der Wasserstand höchstens auf Höhe der Fundamentunterkante liegen.

#### **4. Prüfumfang**

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

Für eine vollständige Typenprüfung von Turm und Fundament ist ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich.

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

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

#### **5. Prüfbemerkungen**

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft.

Die Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnungen sowie den Vorgaben der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

#### **Schnittstellen:**

Der Nachweis der Lasteinleitung in den Vergussmörtel im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird im Rahmen dieses Berichts bestätigt. Der Nachweis der Lasteinleitung in den Vergussmörtel im Grenzzustand der Ermüdung wurde mit dem Prüfbericht für den Hybridturm [10] bestätigt. Die Nachweise der Lasteinleitung in den Beton unter dem Vergussmörtel des Fundaments und des Betons über den Ankerplatten im Fundament werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [6] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [7] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [6] für den vorliegenden Turm gültig sind.

#### **Imperfektionen:**

Die für die Fundamentbemessung angegebenen Lasten in Dokument [9], Kapitel 7 enthalten bereits Effekte aus Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte. Zusätzlich wurden Effekte der Turmschiefstellung mit insgesamt 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt.

#### **Revision 4 dieses Prüfberichts:**

Der Schalplan [3] wurde geringfügig verändert. Diese Änderungen haben keinen maßgeblichen Einfluss auf die statische Berechnung [1].



## **6. Prüfergebnis**

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

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

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

### **6.1. Auflagen für Herstellung und Errichtung**

#### **Baugrund**

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

#### **Ausführung Fundament**

5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsklassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [11] und [12] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
7. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Fundaments sind gültige Versionen der Zulassungen [11] und [12] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
8. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
9. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.



Industrie Service

10. Das in [3] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein.

**Prüfintervalle:**

11. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

# Fundamentdatenblatt

## Foundation Data Sheet

E-138 EP3-HT-160-ES-C-01

E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01

Flachgründung mit und ohne Auftrieb  
Flat Foundation with and without Buoyancy

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

3119511-2-d

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom 13.09.2019

München 13.09.2019

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Prüfamt für Standsicherheit  
von Windenergieanlagen

Der Bearbeiter:

Der Leiter:

3119511-2-e

Reviewed by TÜV SÜD

See Report dated: 2019-11-28

Munich 2019-11-28

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Wind Turbines

Chief Eng.

Expert Eng.



<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 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 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	D0858723-2
<b>Vermerk</b> Note	Originaldokument Original document

<b>Datum</b> Date	<b>Sprache</b> Language	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b> Plant / Department
2019-09-10	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:	Cygon, K. / 2019-08-14	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Villada Gonzalez, J. / 2019-08-14	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

**Revisionen / Revisions**

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2019-08-14	Dokument erstellt Document created	KCY
1	2019-09-03	Maßgebende Fundamentlasten an statische Berechnung angepasst, Angaben zu Erdüberschüttung und Auftrieb ergänzt Decisive foundation loads adapted to structural calculation, information regarding soil cover and buoyancy added	KCY
2	2019-09-10	Berechnung der Erdauflast Seite 7 gemäß Prüfanmerkung angepasst Calculation of earth cover fill adapted according to evaluation remark	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

 Flachgründung  
 mit und ohne Auftrieb

Ø 22,50 m

*Flat foundation  
 with and without Buoyancy*

Auftrag / Datum

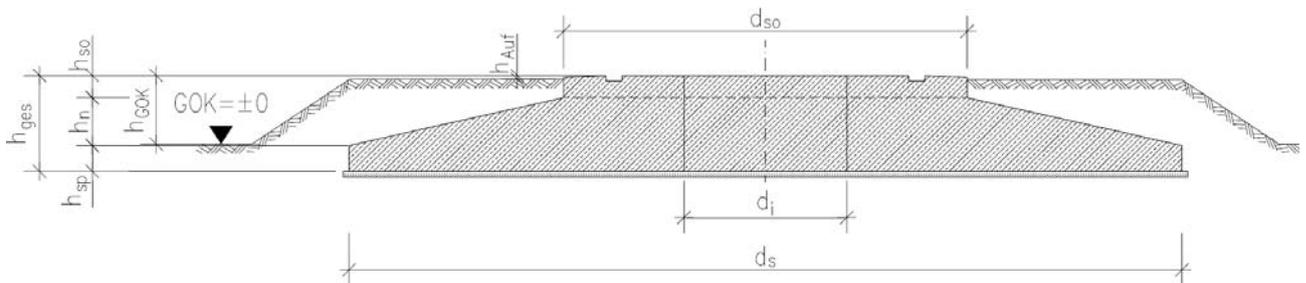
50180-146 / 2019-07-30

Order no./ date



## 2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

<b>Außendurchmesser</b>	$d_a$	22,50 m	<b>Outer diameter</b>
<b>Sockeldurchmesser</b>	$d_{so}$	10,90 m	<b>Base diameter</b>
<b>Durchmesser Fundamentkern</b>	$d_i$	4,40 m	<b>Diameter of foundation core</b>
<b>Durchmesser kompressible Einlage</b>	$d_k$	4,40 m	<b>Compressible layer diameter</b>
<b>Fundamenthöhe</b>	$h_{ges}$	2,60 m	<b>Foundation height</b>
<b>Sockelhöhe</b>	$h_{so}$	0,60 m	<b>Base height</b>
<b>Höhe Spornneigung</b>	$h_n$	1,30 m	<b>Spur incline height</b>
<b>Spornhöhe</b>	$h_{sp}$	0,70 m	<b>Spur height</b>
<b>Differenz Fundamentoberkante - GOK</b>	$h_{GOK}$	1,875 m	<b>Difference between foundation top edge and ground level</b>
<b>Differenz Fundamentoberkante-Oberkante Aufschüttung</b>	$h_{Auf}$	0,10 m	<b>Difference between foundation top edge and backfill</b>
<b>Betongüte und Volumen</b>	C 30/37	574 m <sup>3</sup>	<b>Concrete quality and volume</b>
	C 35/45	54 m <sup>3</sup>	
	gesamt/total	628 m <sup>3</sup>	
<b>Betonstahl und Gewicht</b>	B 500B	85,0 t	<b>Reinforcement steel and weight</b>



Der erforderliche Überstand der Bodenaufkast über die Fundamentaßenkanten 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.*

### 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<math>\phi</math>,stat</b> <b>42000 MNm/rad</b>
	<b>k<math>\phi</math>,dyn</b> <b>210000 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.*

### 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.*

$$\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$$

### 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.*

$$\sigma_{k,vorh} = 252 \text{ kN/m}^2 \text{ (BS-P)}$$

$$\sigma_{k,vorh} = 258 \text{ kN/m}^2 \text{ (BS-A)}$$

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

Die angegebenen  $F_Z$ -Lasten schließen Fundamenteigengewicht  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  und eine Bodenauflast  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  im Trockenzustand ein.

The  $F_Z$  loads indicated include the dead weight of the foundation  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  and a soil weight  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  when dry.

### 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)	802	-35754	-36804	105508	-
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1120	-40405	-37483	159659	3608
N / A / T	(1.00/1.00)	1103	-40245	-37323	165227	1801

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 ohne Auftrieb without buoyancy	$M_{XY}$ in kNm	$M_Z$ in kNm
N / A / T	(1.35/0.90)	1487	-49478	-30834	209016	4866

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte

All loads include partial safety factors

### 6.3 Erdüberschüttung und Auftrieb / Soil cover and buoyancy

Die Erdüberschüttung und der Auftrieb am jeweiligen Standort kann zwischen den zwei folgenden Situationen gewählt werden:

The soil cover and buoyancy can be chosen between the following two situations:

- Erdüberschüttung I: Maximale Erdüberschüttung, konstant 100 mm unter Fundamentoberkante, mit Auftrieb bis GOK  
Soil cover I: Maximum soil cover, constant 100 mm below top of foundation, with buoyancy up to ground level
- Erdüberschüttung II: Minimale Erdüberschüttung, 500 mm parallel zur Fundamentneigung, kein Auftrieb  
Soil cover I: Minimum soil cover, 500 mm parallelly to foundation inclination, no buoyancy

Die oben genannten Lasten decken beide Situationen ab.

Above mentioned loads cover both situations.

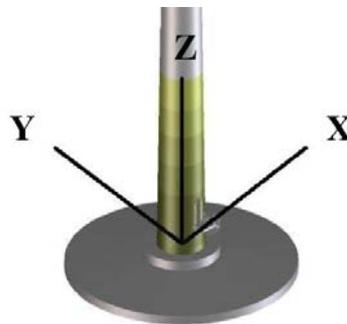


Die planmäßige Wichte beträgt 1,8 to/m<sup>3</sup>. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit folgender Formel ermittelt werden. Die Erdauflast ist durch den Bodengutachter unter Berücksichtigung des vorhandenen Grundwasserspiegels in den Grenzen zwischen I und II festzulegen.

*The scheduled value of the soil density is 1.8 to/m<sup>3</sup>. In case of deviations, the required cover fill can be calculated with the following formula. The soil load must be determined by the geotechnical expert within the boundaries between I and II.*

<p>erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung II: required earth cover on the foundation body for the cover fill II:</p> $h_{II} = \frac{1.8 \text{ [to/m}^3\text{]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} \times 0.51\text{m} \geq 0,51 \text{ m}$	<p>erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I: required earth cover on the foundation body for the cover fill I:</p> $A_{\text{Auflast}} = \frac{\pi}{4} \times (22,50^2 - 10,90^2) = 304,29 \text{ m}^2$ $V_{\text{erf}} = 373 \text{ m}^3$ $G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 373 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ to/m}^3 = 671,4 \text{ to}$ $h_I \text{ [m]} = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{vorh}}} - V_{\text{erf}} = \frac{671,4 \text{ [to]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} - 373 \text{ [m}^3\text{]}$ $h_I \text{ [m]} = \frac{671,4 \text{ [to]}}{304,29 \text{ [m}^2\text{]}} - 373 \text{ [m}^3\text{]}$
--	--

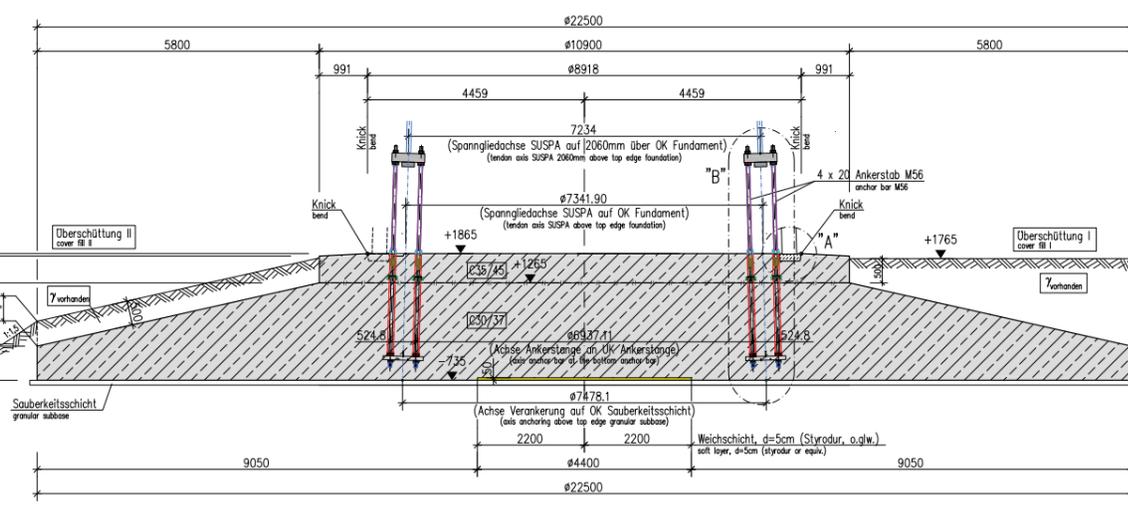
## 7 Koordinatensystem / Coordinate system



Arbeitsfuge zwischen Sockel und Fundamentkörper ist rau herzustellen.  
Construction joint must be produce rough between pedestal and foundation body.

Die Betone können "frisch-in-frisch" oder mit Betonierabschnitten eingebaut werden.  
The concretes can be poured "wet-on-wet" or with concrete sections.

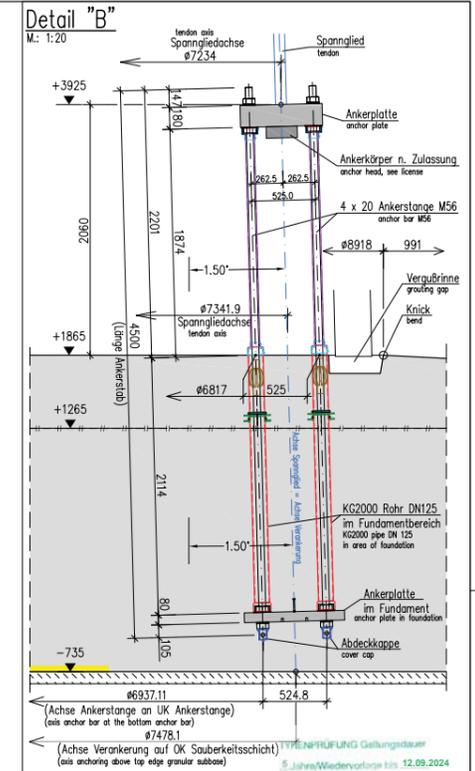
SNITT 1-1  
Section 1-1  
M 1:50



Die planmäßige Wichte beträgt  $1.8 \text{ t/m}^3$ . Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdauflast ist durch den Bodengutachter in den Grenzen zwischen I und II festzulegen.  
The standard value of the soil density is  $1.8 \text{ t/m}^3$ . In case of deviations, the required overfill can be calculated with following formula: The soil load must be determined by the land surveyer within the boundaries between I and II.

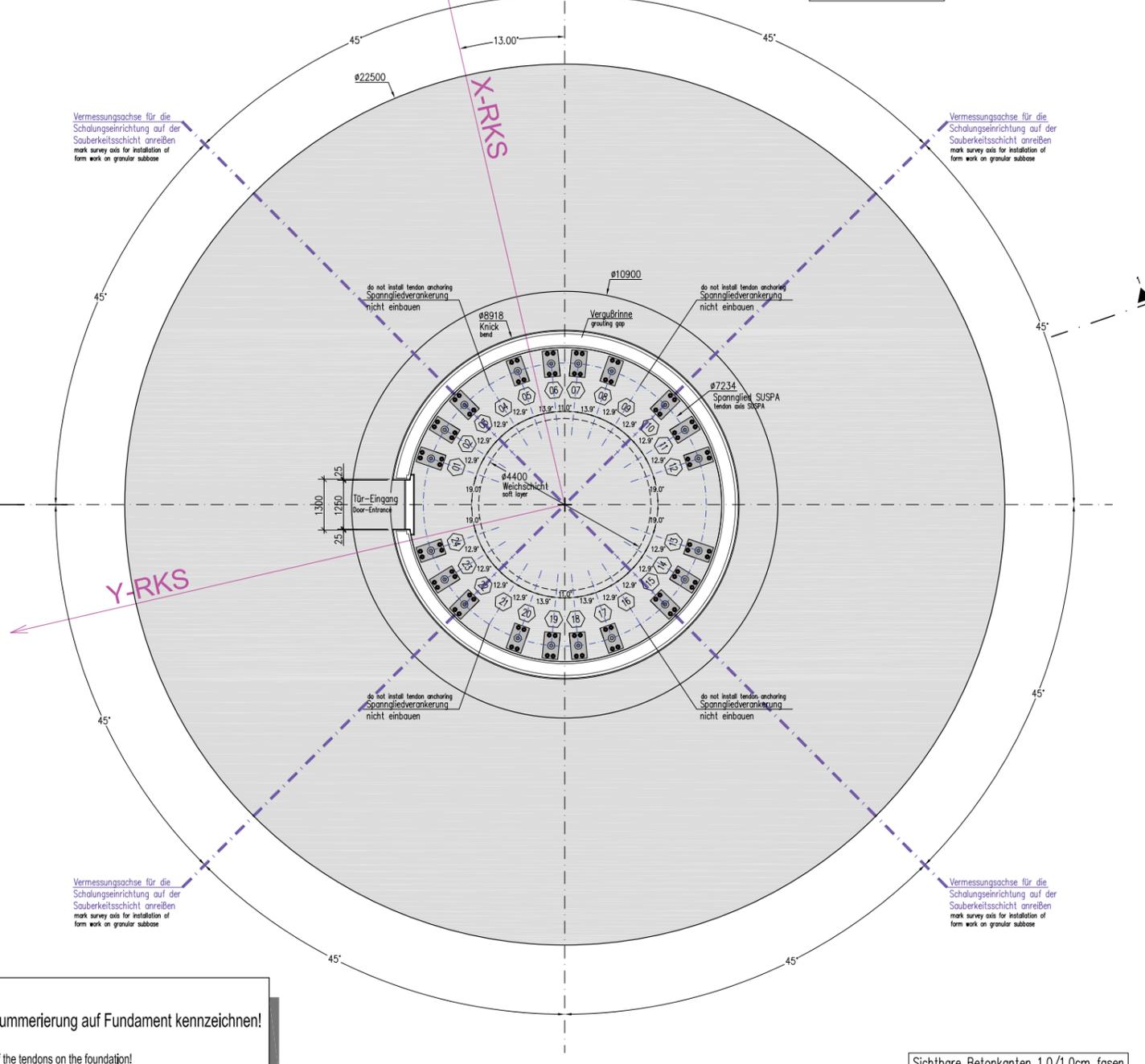
erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung II:  
required earth cover on the foundation body for the cover fill II:  
$$h_2 = \frac{1.8 \text{ [t/m}^3\text{]}}{\gamma_{\text{erth}} \text{ [t/m}^3\text{]}} \times 0.51 \text{ m} > 0.51 \text{ m}$$

erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I:  
required earth cover on the foundation body for the cover fill I:  
$$A_{\text{Auflast}} = \frac{\pi}{4} \times (22.5^2 - 10.9^2) = 304.29 \text{ m}^2$$
  
$$V_{\text{erth}} = 373 \text{ m}^3$$
  
$$G_{\text{erth}} = V \times \gamma = 373 \text{ m}^3 \times 1.8 \text{ t/m}^3 = 671.4 \text{ t}$$
  
$$h_1 \text{ [m]} = \frac{G_{\text{erth}} - V_{\text{erth}}}{A_{\text{Auflast}}} = \frac{671.4 \text{ [t]} - 373 \text{ [m}^3\text{]}}{304.29 \text{ [m}^2\text{]}}$$

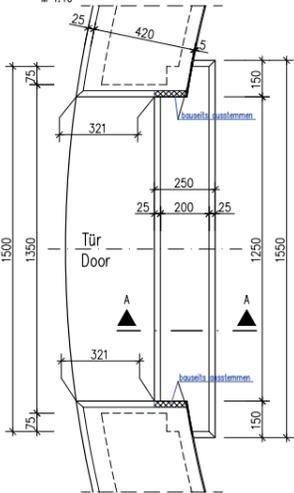


DRAUFSICHT  
TOP VIEW  
M 1:50

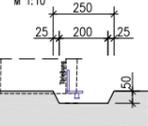
Volumen: volume:  $628 \text{ m}^3$   
C35/45 =  $54 \text{ m}^3$   
C30/37 =  $574 \text{ m}^3$   
Gewicht: weight:  $15700 \text{ kN}$



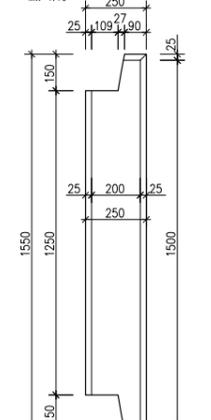
DETAIL TUR "Vergußbrett"  
DETAIL DOOR "Overmoulding board"  
M 1:10



Schnitt A-A  
Section A-A  
M 1:10



VERGUSSBRETT TUR  
OVERMOULDING BOARD DOOR  
M 1:10



Achtung:  
Spanngliednummerierung auf Fundament kennzeichnen!  
Attention:  
Mark the numbers of the tendons on the foundation!

319511-2-e Rev. 3  
Reviewed by TÜV SÜD  
in deutscher Sprache geprüft.  
See Report no.: 2020-04-27  
München  
2020-04-27  
TUV SUD Industrie Service GmbH  
Wind Turbines

319511-2-d Rev. 4  
in deutscher Sprache geprüft.  
See Report no.: 27.04.2020  
München  
27.04.2020  
TUV SUD Industrie Service GmbH  
Prüfung für Spanngliedanker  
von Windturbinen

Die maximale Schiefstellung infolge Baugrundsetzungen in 25 Jahren darf  $\Delta s = 3 \text{ mm/m}$  gemäß der DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012, nicht überschreiten. Dieses ist durch den Baugrundgutachter für den jeweiligen Standort zu bestätigen.  
The maximum tilt due to differential settlements in 25 years must not exceed  $\Delta s = 3 \text{ mm/m}$  according to DIBt guideline, edition October 2012. This has to be verified by the building geotechnical expert for the specific location.

Im Lastfall BS-P nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch eine max. charakteristische Kantendruckung von  $\sigma_{\text{tk}} = 251,80 \text{ kN/m}^2$ . Im Lastfall BS-A nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch eine max. charakteristische Kantendruckung von  $\sigma_{\text{tk}} = 257,8 \text{ kN/m}^2$ . Dieser Wert ist vom Baugrundgutachter zu bestätigen.  
In loadcase BS-P, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure of  $\sigma_{\text{tk}} = 251,80 \text{ kN/m}^2$  has been calculated. This value has to be confirmed by the building geotechnical expert.  
In loadcase BS-A, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure of  $\sigma_{\text{tk}} = 257,8 \text{ kN/m}^2$  has been calculated. This value has to be confirmed by the building geotechnical expert.

Der Grundbruchnachweis ist vom Baugrundgutachter zu erbringen. Dabei ist die mittlere Bodenpressung mit den Lasten aus folgender Tabelle zu ermitteln: Zusätzlich sind die Lasten der Erdüberschüttung und des Auftriebs gemäß den Planungen für den jeweiligen Standort der Windenergieanlagen anzusetzen. The verification against soil rupture has to be carried out by the building geotechnical expert. For this, the mean soil pressure has to be calculated with the loads given in the following table. Additionally the loads stemming from the earth cover and the buoyancy according to the design need to be taken into account for the respective wind turbine location.

Maximale charakteristische Lasten ( $\gamma=1,00$ ) in der Schnittlage der Gründung (inkl. Erdüberschüttung, Auftrieb und eventueller Anbaulasten)	Maximum characteristic loads ( $\gamma=1,00$ ) in the joint between bottom of foundation and soil (incl. earth cover fill, hydrostatic uplift, and possible mounting parts)		
	BS-P (DIN 1054:2010)	BS-T (DIN 1054:2010)	BS-A (DIN 1054:2010)
M <sub>h</sub> [kN]	3375	-	3385
H <sub>h</sub> [kN]	1120	-	1163
M <sub>h</sub> [kNm]	15969	-	16227

**Baustoffe:**  
Fundament: Beton C30/37 und C35/45  
Zementarte: CEM II-Zemente (einstufige) oder CEM II-Zemente mit Flugasche oder CEM I- und CEM II-Zemente mit Flugasche  
Betondeckung Fundament:  $c_{\text{ov}} = 5,0 \text{ cm}$   
für Expositionsklassen: XA1, XA2, XF1 nach DIN EN 1992-1-1 wenn nicht vom Baugrundgutachter höhere Anforderungen gestellt werden. (Anmerkung: Expositionsklasse XF1 nur im Außenbereich ohne Erdüberdeckung erforderlich)

**Feuchtheitsklasse:** XF  
Mauernbeton nach DIN EN 12407-1:2017. Mauerwerk Bauteile aus Beton Fundamentausführung nach DIN EN 206-1 | LV. 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670 | LV. 1045-3

**Fugenausbildung mit einem Vergussmörtel**  
siehe zugehörigen Übersichtsplan

**Grundlegende Anforderungen:**  
Nennwert des Gesteinskörnung: Fundamentkörper  $> 16 \text{ mm}$   
verbleibender Fundamentkörper  $< 32 \text{ mm}$   
Klasse des Chloridgehaltes: D 0,40  
Früchtemperatur nach Angabe Betonhersteller jedoch maximal 30°C

**Zusätzliche Anforderungen:**  
Kriech- und schrumpfverminderter Beton für die Außenbauteile geringe Hydratwärmeeinwirkung.  
Wegen der großen Betonabmessungen ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen in Höhe Abbindezeit und Schwindreife ein Bauteilsteuertag erforderlich.  
Betonrezeptur mit geringer Wärmenwicklung während des Hydrationsprozesses wählen.  
Probekörper sind gemäß bauteilbezogenem Protokoll zu erstellen. Fundamentoberfläche nachverdichten.  
Fundamentkörper und Leerrohre nach den Angaben des Anlieferherstellers vorarbeiten.

Der Auftragnehmer ist für alle Maßnahmen sowie die korrekte Anlieferung vor Ort verantwortlich. Es sind nur originale Maßnahmen zu verwenden. Jegliche Unstimmigkeiten müssen dem Bauleiter gemeldet werden bevor die Arbeit fortgesetzt wird.

Die Aushubarbeiten sind von einem Fachgenieur zu übernehmen. Die Betonzusammensetzung ist durch entsprechende Lieferzettel zu bestätigen.

Die Nachbehandlungsmaßnahmen sind mit dem Betonhersteller auf die Betonherstellung und die Witterungsverhältnisse abzustimmen.

**Material:**  
fundament: concrete C30/37 and C35/45  
grade of cement: CEM II-cement (one-stage) or CEM II-cement with fly ash or CEM I- and CEM II-cement with fly ash  
concrete cover requires:  $c_{\text{ov}} = 5,0 \text{ cm}$   
for exposure class: XA1, XA2, XF1 due to EN 1992-1-1 if there are not higher requirements from the building ground consultant (geologist) (Note: Exposure class XF1 in outside areas without backfill / earth cover)

**Humidity class:** XF  
Bulk concrete according to DASB-guideline: concrete structural elements  
Foundation construction according to DIN EN 206-1 | LV. 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670 | LV. 1045-3

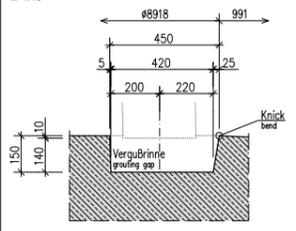
**Joint construction with a grouting mortar**  
see associated layout complete tower

**Fundament requirements:**  
maximal grain size of the aggregate: foundation cap  $\leq 16 \text{ mm}$   
remaining foundation body  $< 32 \text{ mm}$   
class of the chlorid concentration: D 0,40  
Temperature of fresh concrete according to expert for concrete technology but not higher than 30°C

**Additional requirements:**  
low shrinking and creeping concrete shall be used for outside comp. low heat of hydration.  
An expert on concrete technology has to be consulted to avoid damage due to shrinkage, hydration or possible aggressive components of the ground.  
A concrete formula with low thermal development during the hydration process has to be chosen.  
Concrete test-specimens must be produced in accordance to the building-site related inspection plan.  
Repress and mechanical stirrade the foundation surface.  
The earthing of the foundation and the layout of the ducts has to be done according to plant manufacturer  
The contractor is responsible for all dimensions and for the correct setting out of the work on site.  
Only figured dimensions are to be used.  
Any discrepancies are to be reported to the engineer before proceeding.

All excavations have to be inspected by a qualified engineer.  
The composition of the concrete has to be confirmed by the delivery certification.  
The after-treatment measures have to be adjusted and written down in consultation with the concrete technology expert according to the concrete properties and weather conditions.

Detail "A" (Vergußrinne)  
Detail "A" (grouting gap)  
M 1:10



- dynamische Drehfelder der Gründung:  $K_{\text{rot}} = 2100 \cdot 10^5 \text{ kNm/grad}$   
- statische Drehfelder der Gründung:  $K_{\text{rot}} = 420 \cdot 10^5 \text{ kNm/grad}$   
stetliche rotational stiffness  
statical rotational stiffness

ZUGEHÖRIGE PLÄNE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR.:	Planbezeichnung
DE_E20_001_XX_Ubersicht	Übersichtsplan Gesamturm
DE_E20_002_XX_Ubersicht	Übersichtsplan Fundament
DE_E20_003_XX_X_Erdung	Erdungskonzept Übersichtsplan
DE_E20_004_XX_X_Erdung	Erdung für Fundament
DE_E20_005_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament
DE_E20_006_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament
DE_E20_007_XX_X_Ubersicht	Übersicht Leerrohrstrahl
M532	Spanngliedverankerung Fundament

ENERCON Windenergieanlage  
E-130 EP3-HT-160-ES-C01  
E-130 EP3-ES2-HT-160-ES-C01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ BIA

ENERCON wind turbine generator  
E-130 EP3-HT-160-ES-C01  
E-130 EP3-ES2-HT-160-ES-C01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ BIA

Änderung	Bezeichnung	Max.	Datum
1	Freihändlungsplan am Turm erhöht	13.03.2020	
2	Fläche (A) der Erdauflast bereich, Enercon-Planbezeichnung	09.09.2019	

**MAX BöGL**  
Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr: Max Bögl  
Projekt Nr.: 21683  
Bauhvorhaben: Windkraftanlage  
Blatt Nr.: 841,19m  
Bauteile: Schalplan Fundament  $\varnothing 22.50 \text{ m}$   
Merkmal: Schalplan fundam. foundation  
M 1:50

erst.: Reg. [Date: 23.07.2019] Boegl-Planbezeichnung  
gepr.: V. Deser [Date: 24.07.2019] Land [Umsatz]: Rhyne Segment [Anzahl]: Plankat  
Hing.: Bet [Date: 24.07.2019] DE E20\_005\_XX\_X Schalplan [Anzahl]: 1-b  
PROCON-Planbezeichnung: 00867757-1

erst.: Reg. [Date: 23.07.2019] Boegl-Planbezeichnung  
gepr.: V. Deser [Date: 24.07.2019] Land [Umsatz]: Rhyne Segment [Anzahl]: Plankat  
Hing.: Bet [Date: 24.07.2019] DE E20\_005\_XX\_X Schalplan [Anzahl]: 1-b  
PROCON-Planbezeichnung: 00867757-1

All excavations have to be inspected by a qualified engineer.  
The composition of the concrete has to be confirmed by the delivery certification.  
The after-treatment measures have to be adjusted and written down in consultation with the concrete technology expert according to the concrete properties and weather conditions.

Sichtbare Betonkanten 1,0/1,0cm fassen  
Visible concrete edges chamfer 1,0/1,0cm





Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 27.04.2020

**Prüfnummer:** 3119511-3-d Rev.3

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung**  
Turm: E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20)  
Fundament: Flachgründung RT 1.0 mit Spannraum mit und ohne Auftrieb  $\varnothing = 22,50$  m  
Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller und Konstruktion:** Max Bögl Wind AG  
Postfach 1120  
92301 Neumarkt

**Statische Berechnung:** grbv wind GmbH  
Expo Plaza 10  
30539 Hannover

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

**Geltungsdauer:** bis 28.11.2024

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:  
3119511-3-  
d\_Rev.3\_ENERCON\_E-  
138\_EP3\_(E2)-HT-160.docx

Das Dokument besteht aus  
8 Seiten.  
Seite 1 von 8

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Revision	Datum	Änderungen
0	29.11.2019	Erstfassung
1	21.01.2020	Neue Revision Dokument [9]. Dokumente [1] bis [5] behalten Gültigkeit.
2	03.04.2020	Neue Revision Dokumente [1] und [4] sowie [6] und [9]. Dokumente [2], [3] und [5] behalten Gültigkeit
3	27.04.2020	Neue Revision Dokumente [3] und [5]. Dokumente [1], [2] und [4] behalten Gültigkeit.

### Inhaltsverzeichnis

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



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Statische Berechnung - Windenergieanlage Enercon E138 EP3 NH 160 m - Hybridturm E20, Statische Bemessung einer Flachgründung mit D=22,50 m“, erstellt von grbv wind GmbH, 253 Seiten,  
Projekt Nr. 50180-146, Rev. 4, Datum 2020-04-02  
ENERCON Dokument Nr. D0886128-4
- [2] „Fundamentdatenblatt E-138 EP3-HT-160-ES-C-01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, Flachgründung mit Spannraum mit und ohne Auftrieb“, erstellt von ENERCON GmbH, 7 Seiten,  
Dokument Nr. D0889738-1, Rev. 1, Datum 2019-11-13
- [3] „Schalplan Fundament Ø22.50m, RT 1.0 Fundament, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_205\_XX\_X, Rev. b, Datum 2020-03-13  
ENERCON Dokument Nr. D0886116-1
- [4] „Bewehrung Fundament RT 1.0, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_206\_XX\_X, Rev. d, Datum 2020-04-02  
ENERCON Dokument Nr. D0886117-4
- [5] „Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01, E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_207\_XX\_X, Rev. b, Datum 2020-01-09  
ENERCON Dokument Nr. D0886118-2

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [6] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=160m, Spannlieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E20\_001\_XX\_X Uebersicht, Rev. f, Datum 2020-03-16  
ENERCON Dokument Nr. D0867756-4
- [7] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 154 Seiten,  
Projekt Nr. 21683-E20, Rev. d, Datum 2019-10-16  
ENERCON Dokument Nr. D0867769-1
- [8] „Spannanweisung der Spannlieder, Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm mit Fundament RT1.0“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 10 Seiten,  
Projekt Nr. 21683-E20, Rev. -, Datum 2019-10-11



- [9] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Bögl E20), Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 und E138-EP3 E2, 160 m Nabenhöhe, Windzone 2, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten,  
Prüfnummer: 3119511-1-d, Rev. 4, Datum 2020-03-20
- [10] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 39 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [11] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten,  
Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 15.04.2019, Geltungsdauer bis 16.04.2021

## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken –Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /4/ DIN EN 1997-1:2009 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010
- /5/ DIN 1054:2010 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ + DIN 1054/A1:2012 and DIN 1054/A2:2015
- /6/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /7/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012



### **3. Beschreibung**

Die Hybridtürme E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 werden mit Spanngliedern extern vorgespannt und im kreisringförmigen Fundamentsockel verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisringförmigen Fundamentplatte mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockelring. Der Innenbereich des Fundamenttrings wird mit einer unterseitig bündigen Fundamentsohle geschlossen. Zwischen Turmfuß und Sockelring ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

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

Die genauen Abmessungen des Fundaments können dem Schalplan [3] entnommen werden.

#### **3.1. Baustoffe**

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem	20 Spannglieder System SUSPA Draht EX-72, 72 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt gemäß [10] in Verbindung mit [11]

#### **3.2. Lastannahmen**

Die dimensionierenden Lasten am Turmfuß für die Fundamentauslegung sind in der Turmstatik [7] in Kapitel 7 angegeben. Diese Lasten wurden im Rahmen der Turmprüfung mit dem Prüfbericht [9] bestätigt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Turmprüfbericht [9] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt.

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

#### **3.3. Baugrund**

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Fundamentdatenblatt [2]  $k_{\phi, \text{dyn}} \geq 210 \text{ GNm/rad}$  und  $k_{\phi, \text{stat}} \geq 42 \text{ GNm/rad}$ .

Der anstehende Baugrund muss gemäß [2] mindestens eine Bodenpressung von 275 kN/m<sup>2</sup> aufnehmen können (charakteristischer Wert).

Der höchste für den Lastfall Auftrieb in [1] nachgewiesene Wasserstand liegt 1,875 m unter Sockeloberkante.



#### **4. Prüfumfang**

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

Für eine vollständige Typenprüfung von Turm und Fundament ist ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich.

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

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

#### **5. Prüfbemerkungen**

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft.

Die Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnungen sowie den Vorgaben der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

#### **Schnittstellen:**

Der Nachweis der Lasteinleitung in den Vergussmörtel im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird im Rahmen dieses Berichts bestätigt. Der Nachweis der Lasteinleitung in den Vergussmörtel im Grenzzustand der Ermüdung wurde mit dem Prüfbericht für den Hybridturm [7] bestätigt. Die Nachweise der Lasteinleitung in den Beton unter dem Vergussmörtel des Fundaments und des Betons über den Ankerplatten im Fundament werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Für diesen Fundamenttyp ist die Spannabweisung [8] zu beachten.

#### **Imperfektionen:**

Die für die Fundamentbemessung angegebenen Lasten in Dokument [7], Kapitel 7 enthalten bereits Effekte aus Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte. Zusätzlich wurden Effekte der Turmschiefstellung mit insgesamt 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt.

#### **Revision 3 dieses Prüfberichts:**

Die Zeichnungen [3] und [5] wurden geringfügig verändert. Diese Änderungen haben keinen maßgeblichen Einfluss auf die statische Berechnung [1].



## **6. Prüfergebnis**

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

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

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

## **Auflagen für Herstellung und Errichtung**

### **Baugrund**

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

### **Ausführung Fundament**

5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsclassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [10] und [11] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
7. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Fundaments sind gültige Versionen der Zulassungen [10] und [11] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
8. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
9. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
10. Das in [3] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein.



Industrie Service

**Prüfintervalle:**

11. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

# Fundamentdatenblatt

## Foundation Data Sheet

E-138 EP3-HT-160-ES-C-01

E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer

5 Jahre/Wiedervorlage bis 28.11.2024

Flachgründung mit Spannraum  
mit und ohne Auftrieb

Flat foundation with tensioning basement  
with and without Buoyancy

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

3119511-3-d

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom 29.11.2019

München 29.11.2019

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Prüfamt für Standsicherheit  
von Windenergieanlagen

Der Bearbeiter:

Der Leiter:

3119511-3-e

Reviewed by TÜV SÜD

See Report dated: 2019-11-28

Munich 2019-11-28

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Wind Turbines

Chief Eng.

Expert Eng.

<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 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 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	D0889738-1
<b>Vermerk</b> Note	Originaldokument Original document

<b>Datum</b> Date	<b>Sprache</b> Language	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b> Plant / Department
2019-11-13	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:	von Oesen, C. / 2019-10-29	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Cygon, K. / 2019-11-07	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

**Revisionen / Revisions**

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2019-10-29	Dokument erstellt Document created	von Oesen, C.
1	2019-11-13	Fundamentbezeichnung auf Deckblatt angepasst; in Abs. 6.2 "Bemessungswerte" F <sub>Z,min</sub> "ohne Auftrieb" statt "mit Auftrieb" Foundation type adapted on cover sheet; in ch. 6.2 "design values" F <sub>Z,min</sub> "without buoyancy" instead of "with buoyancy"	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

MAX BÖGL WIND AG

*Design-specific structural analysis*

Flachgründung mit und ohne Auftrieb

Ø 22,50 m

*Flat Foundation with and without Buoyancy*

Auftrag / Datum

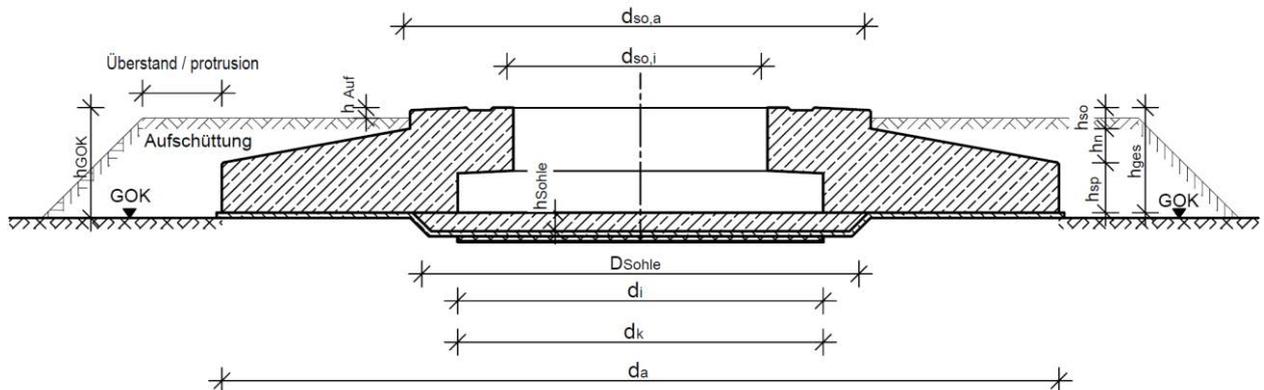
50180-146 / 2019-10-18

Order no. / date



## 2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

<b>Außendurchmesser</b>	$d_a$	22,50	m	<b>Outer diameter</b>
<b>Innendurchmesser</b>	$d_i$	8,40	m	<b>Inner diameter</b>
<b>Durchmesser der kompressiblen Einlage</b>	$d_k$	8,40	m	<b>Compressible layer diameter</b>
<b>Sockeldurchmesser - außen</b>	$d_{so,a}$	10,90	m	<b>Base diameter - outside</b>
<b>Sockeldurchmesser - innen</b>	$d_{so,i}$	4,70/5,70	m	<b>Base diameter - inside</b>
<b>Fundamenthöhe</b>	$h_{ges}$	3,20	m	<b>Foundation height</b>
<b>Sockelhöhe</b>	$h_{so}$	0,90	m	<b>Base height</b>
<b>Höhe Spornneigung</b>	$h_n$	1,00	m	<b>Spur incline height</b>
<b>Spornhöhe</b>	$h_{sp}$	1,30	m	<b>Spur height</b>
<b>Differenz Fundamentoberkante - GOK</b>	$h_{GOK}$	1,875	m	<b>Difference between foundation top edge and ground level</b>
<b>Differenz Fundamentoberkante - Aufschüttung</b>	$h_{Auf}$	0,10/0,29	m	<b>Difference between foundation top edge and Backfill</b>
<b>Durchmesser der Fundamentsohle (gemittelt)</b>	$D_{Sohle}$	9,45	m	<b>Diameter of foundation bottom (averaged)</b>
<b>Höhe der Fundamentsohle</b>	$h_{sohle}$	0,30	m	<b>Height of foundation bottom</b>
<b>Fundamentsohle:</b>				<b>Foundation Bottom:</b>
<b>Betongüte und Volumen</b>	C 30/37	551,1	m <sup>3</sup>	<b>Concrete quality and volume</b>
	C 40/50	145,0	m <sup>3</sup>	
<b>Betonstahl und Gewicht</b>	B 500B	93,5	t	<b>Reinforcement steel and weight</b>
<b>Fundamentsohle:</b>				<b>Foundation Bottom:</b>
<b>Betongüte und Volumen</b>	C 30/37	21,1	m <sup>3</sup>	<b>Concrete quality and volume</b>
<b>Betonstahl und Gewicht</b>	B 500B	2,4	t	<b>Reinforcement steel and weight</b>



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaßenkanten 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.

### 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<math>\phi</math>,stat</b> <b>42000 MNm/rad</b>
	<b>k<math>\phi</math>,dyn</b> <b>210000 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.*

### 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.*

$$\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$$

### 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.*

$$\sigma_{k,vorh} = 271 \text{ kN/m}^2 \text{ (BS-P)}$$

$$\sigma_{k,vorh} = 275 \text{ kN/m}^2 \text{ (BS-A)}$$

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

Die angegebenen  $F_z$  Lasten schließen Fundamenteigengewicht  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  und Bodenauf-  
last  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  im Trockenzustand ein.

*The  $F_z$  loads indicated include the dead weight of the foundation  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  and soil weight  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  when dry.*

### 6.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	$(\gamma_{G,\min}/\gamma_{G,\max})$	$F_{XY}$ 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)	802	- 42190	- 33020	105989	-
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1120	- 42869	- 33180	160331	3608
N / A / T	(1.00/1.00)	1103	- 42709	- 33020	165889	1801

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	$(\gamma_{G,\min}/\gamma_{G,\max})$	$F_{XY}$ 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)	1487	- 53582	- 27369	209908	4866

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

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

### 6.3 Erdüberschüttung und Auftrieb / Soil cover and buoyancy

Die Erdüberschüttung und der Auftrieb am jeweiligen Standort kann zwischen den zwei folgenden Situationen gewählt werden:

*The soil cover and buoyancy can be chosen between the following two situations:*

- Erdüberschüttung I: Maximale Erdüberschüttung, konstant 100 mm unter Fundamentoberkante, mit Auftrieb bis GOK  
*Soil cover I: Maximum soil cover, constant 100 mm below top of foundation, with buoyancy up to ground level*
- Erdüberschüttung II: Minimale Erdüberschüttung, 600 mm parallel zur Fundamentneigung, mit Auftrieb bis GOK  
*Soil cover I: Minimum soil cover, 600 parallelly to foundation inclination, with buoyancy up to ground level*

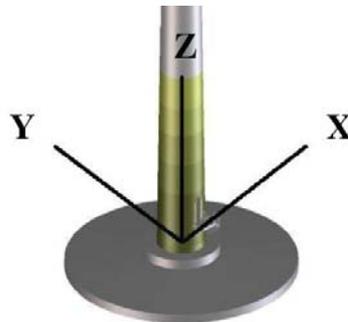
Die oben genannten Lasten decken beide Situationen ab.  
*Above mentioned loads cover both situations.*

Die planmäßige Wichte beträgt 1,8 to/m<sup>3</sup>. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit folgender Formel ermittelt werden. Die Erdauflast ist durch den Bodengutachter unter Berücksichtigung des vorhandenen Grundwasserspiegels in den Grenzen zwischen I und II festzulegen.

*The scheduled value of the soil density is 1.8 to/m<sup>3</sup>. In case of deviations, the required cover fill can be calculated with the following formula. The soil load must be determined by the geotechnical expert within the boundaries between I and II.*

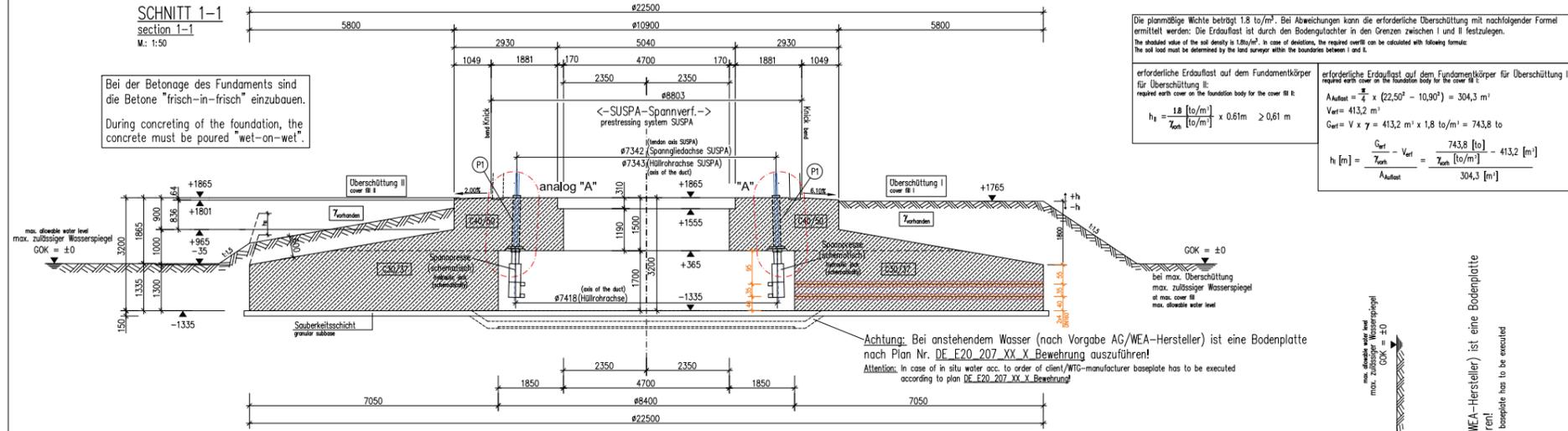
<p>Die planmäßige Wichte beträgt 1.8 to/m<sup>3</sup>. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdauflast ist durch den Bodengutachter in den Grenzen zwischen I und II festzulegen.</p> <p>The scheduled value of the soil density is 1.8to/m<sup>3</sup>. In case of deviations, the required overfill can be calculated with following formula: The soil load must be determined by the land surveyor within the boundaries between I and II.</p>	
<p>erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung II: required earth cover on the foundation body for the cover fill II:</p> $h_{II} = \frac{1.8 \text{ [to/m}^3\text{]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} \times 0.61\text{m} \geq 0,61 \text{ m}$	<p>erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I: required earth cover on the foundation body for the cover fill I:</p> $A_{\text{Auflast}} = \frac{\pi}{4} \times (22,50^2 - 10,90^2) = 304,3 \text{ m}^2$ $V_{\text{erf}} = 413,2 \text{ m}^3$ $G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 413,2 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ to/m}^3 = 743,8 \text{ to}$ $h_I \text{ [m]} = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{vorh}}} - V_{\text{erf}} = \frac{743,8 \text{ [to]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} - 413,2 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_{\text{Auflast}} \quad 304,3 \text{ [m}^2\text{]}$

## 7 Koordinatensystem / Coordinate system





**SCHNITT 1-1**  
section 1-1  
M: 1:50



Bei der Betonage des Fundaments sind die Betone "frisch-in-frisch" einzubauen.  
During concreting of the foundation, the concrete must be poured "wet-on-wet".

Die planmäßige Wichte beträgt 1,8 t/m³. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdaufsticht ist durch den Bodengutachter in den Grenzen zwischen I und II festzulegen.  
The standard value of the soil density is 1.8 t/m³. In case of deviations, the required overfill can be calculated with following formula: The soil must not be determined by the land surveyor within the boundaries between I and II.

erforderliche Erdaufsticht auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I  
required earth cover on the foundation body for the cover II:

$$h_{II} = \frac{1,8 \text{ [t/m}^3\text{]}}{\gamma_{\text{min}} \text{ [t/m}^3\text{]}} \times 0,61 \text{ m} \geq 0,61 \text{ m}$$

erforderliche Erdaufsticht auf dem Fundamentkörper für Überschüttung II  
required earth cover on the foundation body for the cover III:

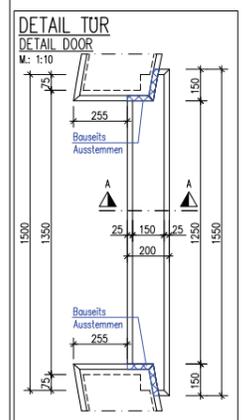
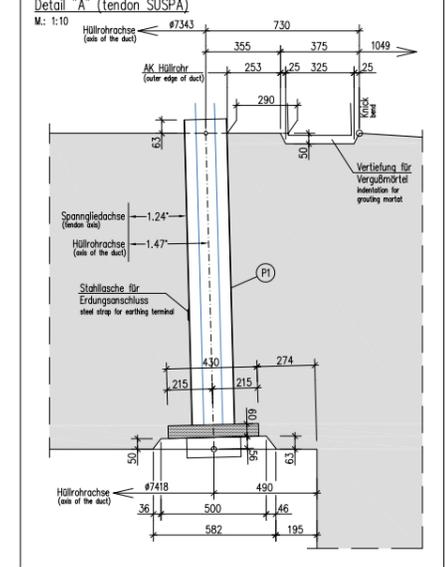
$$A_{\text{Aufst.}} = \frac{1}{4} \times (22,50^2 - 10,90^2) = 304,3 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{Aufst.}} = 413,2 \text{ m}^3$$

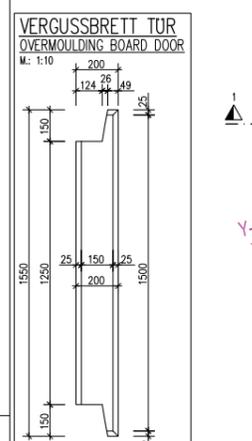
$$G_{\text{Aufst.}} = V \times \gamma = 413,2 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ t/m}^3 = 743,8 \text{ t}$$

$$h \text{ [m]} = \frac{G_{\text{Aufst.}} - V_{\text{Aufst.}}}{A_{\text{Aufst.}}} = \frac{743,8 \text{ [t]} - 413,2 \text{ [m}^3\text{]}}{304,3 \text{ [m}^2\text{]}}$$

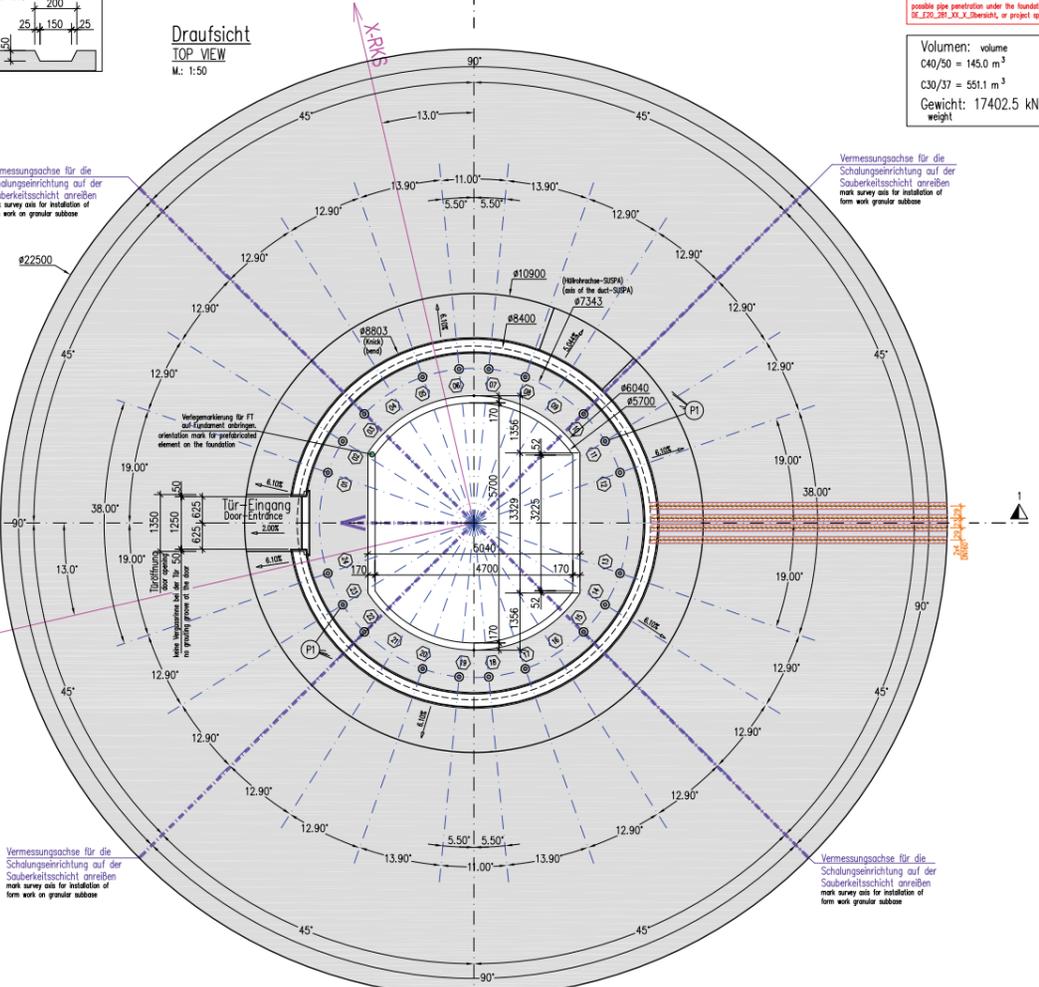
**Detail "A" (Spannglied SUSPA)**  
Detail "A" (tendon SUSPA)  
M: 1:10



**SCHNITT A-A**  
SECTION A-A  
M: 1:10



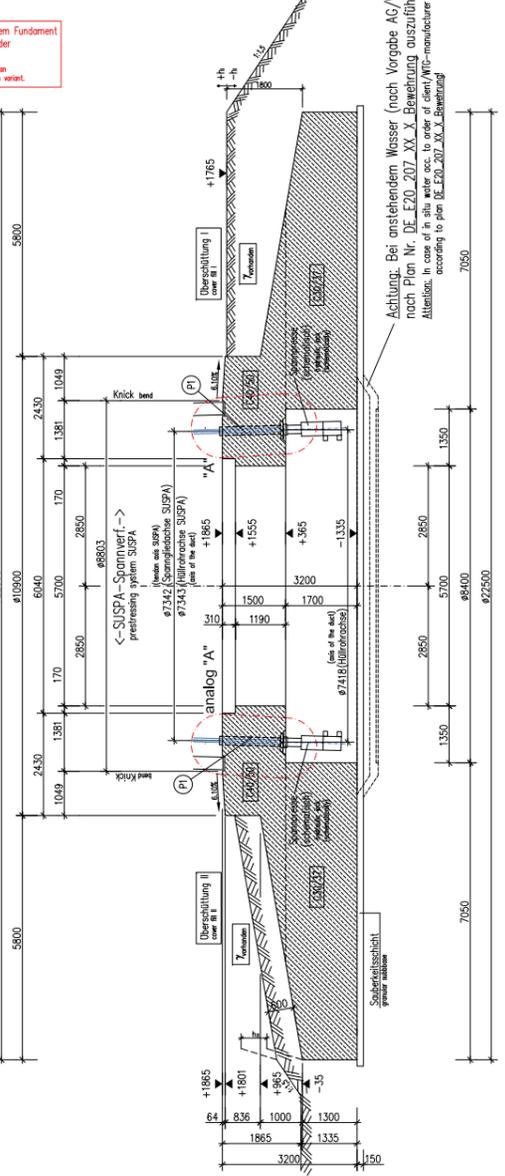
**Draufsicht**  
TOP VIEW  
M: 1:50



Mögliche Leerrohrdurchführung unter dem Fundament  
siehe DE\_E20\_281\_XX\_X\_Ubersicht, oder  
projektspezifische Planvarianten.  
possible pipe penetration under the foundation see plan  
DE\_E20\_281\_XX\_X\_Ubersicht, or project specific plan variant.

Volumen: volume  
C40/50 = 145,0 m³  
C30/37 = 551,1 m³  
Gewicht: 17402,5 kN  
weight

**SCHNITT 2-2**  
section 2-2  
M: 1:50



Achtung: Bei anstehendem Wasser (nach Vorgabe AG/WEA-Hersteller) ist eine Bodenplatte nach Plan Nr. DE\_E20\_207\_XX\_X\_Bewehrung auszuführen!  
Attention: in case of in situ water acc. to order of client/WEG-manufacturer baseplate has to be executed according to plan DE\_E20\_207\_XX\_X\_Bewehrung

Die maximale Schiefelast infolge Baugrundsetzungen in 25 Jahren darf  $s = 3 \text{ mm/m}_d$  gemäß der DBI-Richtlinie, Fassung Oktober 2012, nicht überschreiten.  
Dieses ist durch den Baugrundgutachter für den jeweiligen Standort zu bestätigen.  
The maximum tilt due to differential settlements in 25 years must not exceed  $s = 3 \text{ mm/m}_d$  according to DBI - guideline, edition October 2012. This has to be verified by the building geotechnical expert for the specific location.

Im Lastfall BS-P nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch eine max. charakteristische Kantenpressung von  $\sigma_{k,1} = 270,5 \text{ kN/m}^2$ .  
Im Lastfall BS-A nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch eine max. charakteristische Kantenpressung von  $\sigma_{k,2} = 275,1 \text{ kN/m}^2$ .  
Dieser Wert ist vom Baugrundgutachter zu bestätigen.  
In loadcase BS-P, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure of  $\sigma_{k,1} = 270,5 \text{ kN/m}^2$  has been calculated. In loadcase BS-A, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure of  $\sigma_{k,2} = 275,1 \text{ kN/m}^2$  has been calculated. This value has to be confirmed by the building geotechnical expert.

Der Grundbruchnachweis ist vom Baugrundgutachter zu erbringen. Dabei ist die mittlere Bodenpressung mit den Lasten aus folgender Tabelle zu ermitteln.  
Zusätzlich sind die Lasten der Erdaufschüttung und des Auftriebs gemäß den Planungen für den jeweiligen Standort der Windenergieanlagen anzusetzen.  
The verification against soil rupture has to be carried out by the building geotechnical expert. For this, the mean soil pressure has to be calculated with the loads given in the following table. Additionally the loads stemming from the earth cover and the buoyancy according to the design need to be taken into account for the respective wind turbine location.

Maximum characteristic loads ( $\gamma=1,00$ ) in the shaft of the foundation (incl. Erdaufschüttung, Auftrieb und eventueller Anbaulasten)	BS-P (DIN 1054:2010)	BS-T (DIN 1054:2010)	BS-A (DIN 1054:2010)
M [kN]	34912	-	34752
H [kN]	1120	-	1103
Mk [kNm]	160331	-	162889

**Bausstoffe:**  
Fundament: Beton C30/37 und C40/50  
Zementbeton C20/25 (beton) oder C20/25 mit Flugsand  
oder C20/25-Zement mit Flugsand  
oder C20/25-Zement mit Flugsand  
Betonbeton C20/25 (beton) oder C20/25 mit Flugsand  
Betonbeton C20/25 (beton) oder C20/25 mit Flugsand  
Betonbeton C20/25 (beton) oder C20/25 mit Flugsand

**Material:**  
fundament: concrete C30/37 and C40/50  
grade of cement: C20/25 (beton) or C20/25 with fly ash  
or C20/25-Zement mit Flugsand  
concrete cover required:  $\geq 50 \text{ mm}$   
for exposure class: XCA, XCB, XF1 due to EN 1992-1-1  
if there are not higher requirements from the building ground consultant (geologist)  
(Note: Exposure class: XCB in outside areas without load/earth cover)

**Humidity class: W**  
Bulk concrete according to DABF-goldener Beton  
Foundation construction according to DIN EN 206-1/1.1, DIN 1045-2  
DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670/1.1, m. DIN 1045-3

Die Anbaubehälter sind von einem Fachingenieur zu überwachen.  
Die Betonherstellung ist durch ein Zertifikat zu bestätigen.  
The after-treatment measures have to be adjusted and written down in consultation with the concrete technology expert according to the concrete properties and weather conditions.

Pos. E-Nr.	Bezeichnung	SP Nummer	Description
1	Finbauerteile für SUSPA-Spannglieder		List of installation-parts for SUSPA-tendons

3119511-3 Rev. 3  
Reviewed by TÜV SÜD  
See Report code: 2020-44-27  
Revision: 2020-04-27  
TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Königsplatz 1  
90476 Regensburg  
Germany

**ACHTUNG:**  
Leerrohrverlauf nur exemplarisch dargestellt.  
Genauere Lage ist dem Plan  
"DE\_E20\_081\_XX\_X\_Ubersicht" zu entnehmen.  
**ATTENTION:**  
The course of the ducts is shown as an example. The exact position is shown on the plan "DE\_E20\_081\_XX\_X\_Ubersicht"

statische Drehfeder der Gründung:  $K_{\text{rot}} = 42000 \text{ MNm/grad}$   
statische Drehfeder der Gründung:  $K_{\text{rot}} = 210000 \text{ MNm/grad}$   
dynamic rotational stiffness

ZUGEHÖRIGE PLÄNE	ASSOCIATED DRAWINGS
DE_E20_001_XX_X_Ubersicht	Planübersicht
DE_E20_002_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Gesamtform
DE_E20_003_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Fundament
DE_E20_004_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung
DE_E20_005_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung
DE_E20_006_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung
DE_E20_007_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung
DE_E20_008_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung

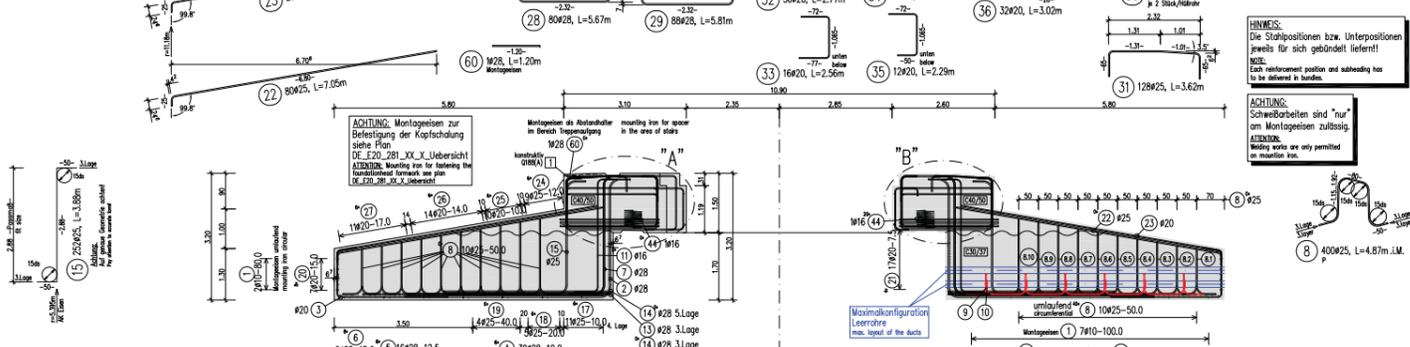
Plan Nr.:	Planbezeichnung	Planbezeichnung
DE_E20_001_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Gesamtform	layout complete lower
DE_E20_002_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Fundament	general plan with earthing concept
DE_E20_003_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung	foundation reinforcement plan
DE_E20_004_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung	baseplate
DE_E20_005_XX_X_Ubersicht	Übersichtplan Bewehrung	overview pipe penetration

Hersteller	Modell	Max. Leistung	Max. Drehmoment
ENERCON Windenergieanlagen	E-130 EP34HT-160ES-C01	1100 kW	14100 Nm
ENERCON Windenergieanlagen	E-130 EP34HT-160ES-C01	1100 kW	14100 Nm

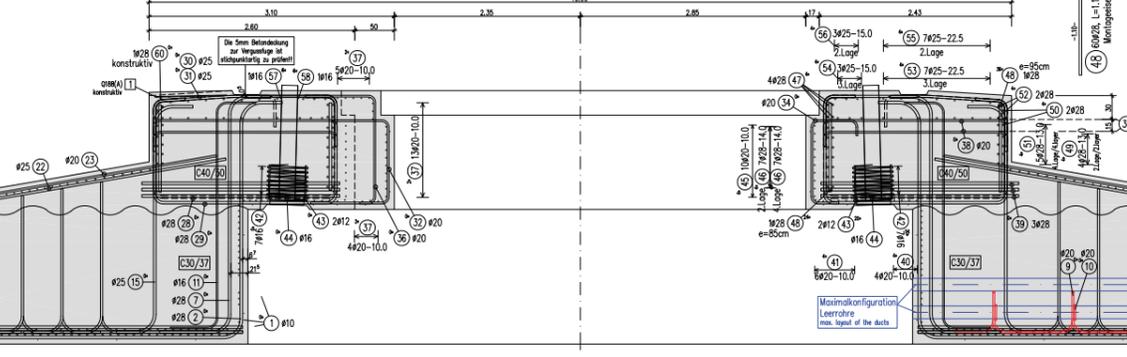
**MAX BÖGL**  
Fortschritt baut man aus Ideen

Bauherr:	Projekt Nr.:
Max Bögl	21583
Bauherrin:	Projekt Nr.:
Schäpflin Windkraftanlage	1.604.84m
Baustelle:	Maßstab:
Schäpflin Fundament #22.50m	1:200; 1:50
Erstl. Rev.:	Datum:
01/10/2019	01/10/2019
Erstl. Rev.:	Datum:
02/10/2019	02/10/2019

SCHNITT 1-1  
SECTION 1-1  
M: 1:50



DETAIL "A"  
DETAIL "B"  
M: 1:25

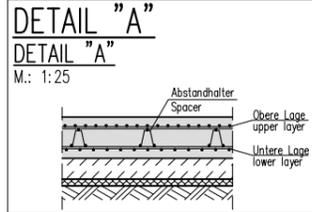
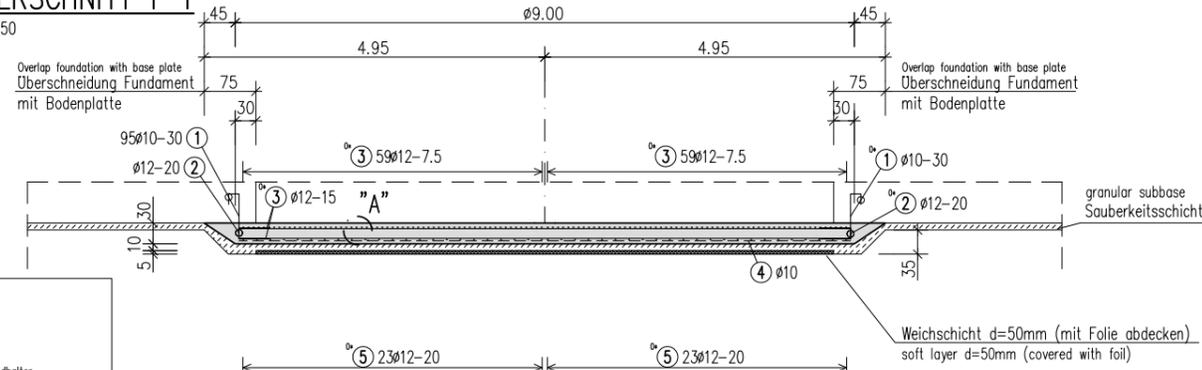


STAHL LISTE Betonstahl B500B Bauteil: ...

Pos.	Stk.	länge	B20	B25	B30	B35	B38	B40	B45	B50	B55	B60	B65	B70	B75	B80	B85	B90	B95	B100	B105	B110	B115	B120	B125	B130	B135	B140	B145	B150	B155	B160	B165	B170	B175	B180	B185	B190	B195	B200	B205	B210	B215	B220	B225	B230	B235	B240	B245	B250	B255	B260	B265	B270	B275	B280	B285	B290	B295	B300	B305	B310	B315	B320	B325	B330	B335	B340	B345	B350	B355	B360	B365	B370	B375	B380	B385	B390	B395	B400	B405	B410	B415	B420	B425	B430	B435	B440	B445	B450	B455	B460	B465	B470	B475	B480	B485	B490	B495	B500	B505	B510	B515	B520	B525	B530	B535	B540	B545	B550	B555	B560	B565	B570	B575	B580	B585	B590	B595	B600	B605	B610	B615	B620	B625	B630	B635	B640	B645	B650	B655	B660	B665	B670	B675	B680	B685	B690	B695	B700	B705	B710	B715	B720	B725	B730	B735	B740	B745	B750	B755	B760	B765	B770	B775	B780	B785	B790	B795	B800	B805	B810	B815	B820	B825	B830	B835	B840	B845	B850	B855	B860	B865	B870	B875	B880	B885	B890	B895	B900	B905	B910	B915	B920	B925	B930	B935	B940	B945	B950	B955	B960	B965	B970	B975	B980	B985	B990	B995	B1000	B1005	B1010	B1015	B1020	B1025	B1030	B1035	B1040	B1045	B1050	B1055	B1060	B1065	B1070	B1075	B1080	B1085	B1090	B1095	B1100	B1105	B1110	B1115	B1120	B1125	B1130	B1135	B1140	B1145	B1150	B1155	B1160	B1165	B1170	B1175	B1180	B1185	B1190	B1195	B1200	B1205	B1210	B1215	B1220	B1225	B1230	B1235	B1240	B1245	B1250	B1255	B1260	B1265	B1270	B1275	B1280	B1285	B1290	B1295	B1300	B1305	B1310	B1315	B1320	B1325	B1330	B1335	B1340	B1345	B1350	B1355	B1360	B1365	B1370	B1375	B1380	B1385	B1390	B1395	B1400	B1405	B1410	B1415	B1420	B1425	B1430	B1435	B1440	B1445	B1450	B1455	B1460	B1465	B1470	B1475	B1480	B1485	B1490	B1495	B1500	B1505	B1510	B1515	B1520	B1525	B1530	B1535	B1540	B1545	B1550	B1555	B1560	B1565	B1570	B1575	B1580	B1585	B1590	B1595	B1600	B1605	B1610	B1615	B1620	B1625	B1630	B1635	B1640	B1645	B1650	B1655	B1660	B1665	B1670	B1675	B1680	B1685	B1690	B1695	B1700	B1705	B1710	B1715	B1720	B1725	B1730	B1735	B1740	B1745	B1750	B1755	B1760	B1765	B1770	B1775	B1780	B1785	B1790	B1795	B1800	B1805	B1810	B1815	B1820	B1825	B1830	B1835	B1840	B1845	B1850	B1855	B1860	B1865	B1870	B1875	B1880	B1885	B1890	B1895	B1900	B1905	B1910	B1915	B1920	B1925	B1930	B1935	B1940	B1945	B1950	B1955	B1960	B1965	B1970	B1975	B1980	B1985	B1990	B1995	B2000	B2005	B2010	B2015	B2020	B2025	B2030	B2035	B2040	B2045	B2050	B2055	B2060	B2065	B2070	B2075	B2080	B2085	B2090	B2095	B2100	B2105	B2110	B2115	B2120	B2125	B2130	B2135	B2140	B2145	B2150	B2155	B2160	B2165	B2170	B2175	B2180	B2185	B2190	B2195	B2200	B2205	B2210	B2215	B2220	B2225	B2230	B2235	B2240	B2245	B2250	B2255	B2260	B2265	B2270	B2275	B2280	B2285	B2290	B2295	B2300	B2305	B2310	B2315	B2320	B2325	B2330	B2335	B2340	B2345	B2350	B2355	B2360	B2365	B2370	B2375	B2380	B2385	B2390	B2395	B2400	B2405	B2410	B2415	B2420	B2425	B2430	B2435	B2440	B2445	B2450	B2455	B2460	B2465	B2470	B2475	B2480	B2485	B2490	B2495	B2500	B2505	B2510	B2515	B2520	B2525	B2530	B2535	B2540	B2545	B2550	B2555	B2560	B2565	B2570	B2575	B2580	B2585	B2590	B2595	B2600	B2605	B2610	B2615	B2620	B2625	B2630	B2635	B2640	B2645	B2650	B2655	B2660	B2665	B2670	B2675	B2680	B2685	B2690	B2695	B2700	B2705	B2710	B2715	B2720	B2725	B2730	B2735	B2740	B2745	B2750	B2755	B2760	B2765	B2770	B2775	B2780	B2785	B2790	B2795	B2800	B2805	B2810	B2815	B2820	B2825	B2830	B2835	B2840	B2845	B2850	B2855	B2860	B2865	B2870	B2875	B2880	B2885	B2890	B2895	B2900	B2905	B2910	B2915	B2920	B2925	B2930	B2935	B2940	B2945	B2950	B2955	B2960	B2965	B2970	B2975	B2980	B2985	B2990	B2995	B3000	B3005	B3010	B3015	B3020	B3025	B3030	B3035	B3040	B3045	B3050	B3055	B3060	B3065	B3070	B3075	B3080	B3085	B3090	B3095	B3100	B3105	B3110	B3115	B3120	B3125	B3130	B3135	B3140	B3145	B3150	B3155	B3160	B3165	B3170	B3175	B3180	B3185	B3190	B3195	B3200	B3205	B3210	B3215	B3220	B3225	B3230	B3235	B3240	B3245	B3250	B3255	B3260	B3265	B3270	B3275	B3280	B3285	B3290	B3295	B3300	B3305	B3310	B3315	B3320	B3325	B3330	B3335	B3340	B3345	B3350	B3355	B3360	B3365	B3370	B3375	B3380	B3385	B3390	B3395	B3400	B3405	B3410	B3415	B3420	B3425	B3430	B3435	B3440	B3445	B3450	B3455	B3460	B3465	B3470	B3475	B3480	B3485	B3490	B3495	B3500	B3505	B3510	B3515	B3520	B3525	B3530	B3535	B3540	B3545	B3550	B3555	B3560	B3565	B3570	B3575	B3580	B3585	B3590	B3595	B3600	B3605	B3610	B3615	B3620	B3625	B3630	B3635	B3640	B3645	B3650	B3655	B3660	B3665	B3670	B3675	B3680	B3685	B3690	B3695	B3700	B3705	B3710	B3715	B3720	B3725	B3730	B3735	B3740	B3745	B3750	B3755	B3760	B3765	B3770	B3775	B3780	B3785	B3790	B3795	B3800	B3805	B3810	B3815	B3820	B3825	B3830	B3835	B3840	B3845	B3850	B3855	B3860	B3865	B3870	B3875	B3880	B3885	B3890	B3895	B3900	B3905	B3910	B3915	B3920	B3925	B3930	B3935	B3940	B3945	B3950	B3955	B3960	B3965	B3970	B3975	B3980	B3985	B3990	B3995	B4000	B4005	B4010	B4015	B4020	B4025	B4030	B4035	B4040	B4045	B4050	B4055	B4060	B4065	B4070	B4075	B4080	B4085	B4090	B4095	B4100	B4105	B4110	B4115	B4120	B4125	B4130	B4135	B4140	B4145	B4150	B4155	B4160	B4165	B4170	B4175	B4180	B4185	B4190	B4195	B4200	B4205	B4210	B4215	B4220	B4225	B4230	B4235	B4240	B4245	B4250	B4255	B4260	B4265	B4270	B4275	B4280	B4285	B4290	B4295	B4300	B4305	B4310	B4315	B4320	B4325	B4330	B4335	B4340	B4345	B4350	B4355	B4360	B4365	B4370	B4375	B4380	B4385	B4390	B4395	B4400	B4405	B4410	B4415	B4420	B4425	B4430	B4435	B4440	B4445	B4450	B4455	B4460	B4465	B4470	B4475	B4480	B4485	B4490	B4495	B4500	B4505	B4510	B4515	B4520	B4525	B4530	B4535	B4540	B4545	B4550	B4555	B4560	B4565	B4570	B4575	B4580	B4585	B4590	B4595	B4600	B4605	B4610	B4615	B4620	B4625	B4630	B4635	B4640	B4645	B4650	B4655	B4660	B4665	B4670	B4675	B4680	B4685	B4690	B4695	B4700	B4705	B4710	B4715	B4720	B4725	B4730	B4735	B4740	B4745	B4750	B4755	B4760	B4765	B4770	B4775	B4780	B4785	B4790	B4795	B4800	B4805	B4810	B4815	B4820	B4825	B4830	B4835	B4840	B4845	B4850	B4855	B4860	B4865	B4870	B4875	B4880	B4885	B4890	B4895	B4900	B4905	B4910	B4915	B4920	B4925	B4930	B4935	B4940	B4945	B4950	B4955	B4960	B4965	B4970	B4975	B4980	B4985	B4990	B4995	B5000	B5005	B5010	B5015	B5020	B5025	B5030	B5035	B5040	B5045	B5050	B5055	B5060	B5065	B5070	B5075	B5080	B5085	B5090	B5095	B5100	B5105	B5110	B5115	B5120	B5125	B5130	B5135	B5140	B5145	B5150	B5155	B5160	B5165	B5170	B5175	B5180	B5185	B5190	B5195	B5200	B5205	B5210	B5215	B5220	B5225	B5230	B5235	B5240	B5245	B5250	B5255	B5260	B5265	B5270	B5275	B5280	B5285	B5290	B5295	B5300	B5305	B5310	B5315	B5320	B5325	B5330	B5335	B5340	B5345	B5350	B5355	B5360	B5365	B5370	B5375	B5380	B5385	B5390	B5395	B5400	B5405	B5410	B5415	B5420	B5425	B5430	B5435	B5440	B5445	B5450	B5455	B5460	B5465	B5470	B5475	B5480	B5485	B5490	B5495	B5500	B5505	B5510	B5515	B5520	B5525	B5530	B5535	B5540	B5545	B5550	B5555	B5560	B5565	B5570	B5575	B5580	B5585	B5590	B5595	B5600	B5605	B5610	B5615	B5620	B5625	B5630	B5635	B5640	B5645	B5650	B5655	B5660	B5665	B5670	B5675	B5680	B5685	B5690	B5695	B5700	B5705	B5710	B5715	B5720	B5725	B5730	B5735	B5740	B5745	B5750	B5755	B5760	B5765	B5770	B5775	B5780	B5785	B5790	B5795	B5800	B5805	B5810	B5815	B5820	B5825	B5830	B5835	B5840	B5845	B5850	B5855	B5860	B5865	B5870	B5875	B5880	B5885	B5890	B5895	B5900	B5905	B5910	B5915	B5920	B5925	B5930	B5935	B5940	B5945	B5950	B5955	B5960	B5965	B5970	B5975	B5980	B5985	B5990	B5995	B6000	B6005	B6010	B6015	B6020
------	------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

CROSS-SECTION 1-1  
QUERSCHNITT 1-1

M.: 1:50



① 95Ø10L=1.35m

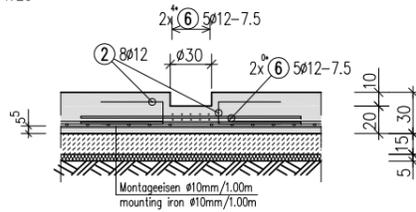
④ VE Ø10 100.00 lfdm Montageisen mounting iron

⑥ 20Ø12L=1.60m

Zulagen unter Pumpensumpf (kreuzweise) additional reinforcement under pump sump (crosswise)

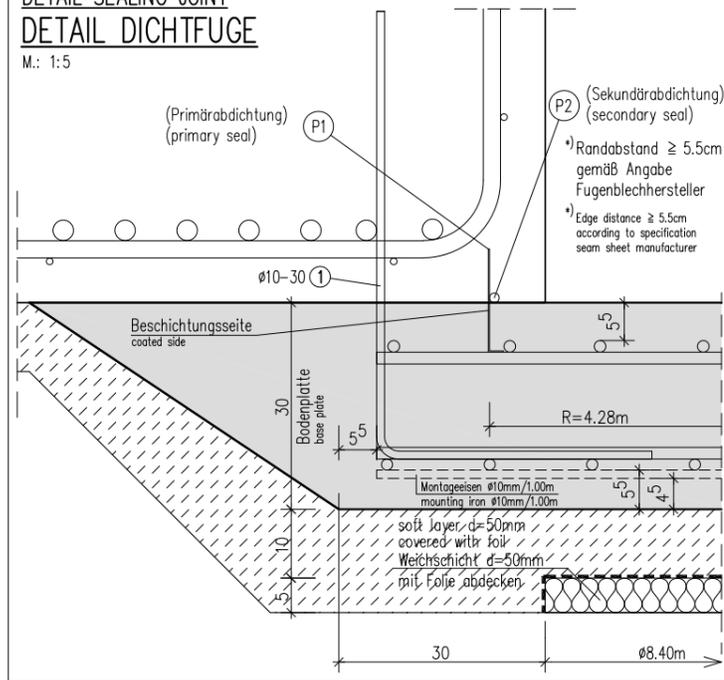
CROSS-SECTION PUMP SUMP (optional)  
QUERSCHNITT PUMPENSUMPF (optional)

M.: 1:25



DETAIL SEALING JOINT  
DETAIL DICHTFUGE

M.: 1:5



Biege- und Verlegeanweisung  
Bending- and installation instruction

nach/according: EC2 + NA

Mindestbiegerollendurchmesser / Minimum mandrel diameters

Stahlschlingen / curved bars	Haken / hook	Bügel / stirrup
reichtwinklig / straight	$d_{min} > 100 \text{ mm und } > 7 \cdot d$	$d_{min} = 10 \cdot d$
Biegebogen / bent	$d_{min} > 50 \text{ mm und } > 3 \cdot d$	$d_{min} = 15 \cdot d$
gerade / straight	$d_{min} \leq 50 \text{ mm oder } \leq 3 \cdot d$	$d_{min} = 7 \cdot d$

Die Gesamtlängen der Auszüge beziehen sich auf Außenmaße  
All total lengths of bar profiles show outside dimensions

Baustoffe  
Building materials

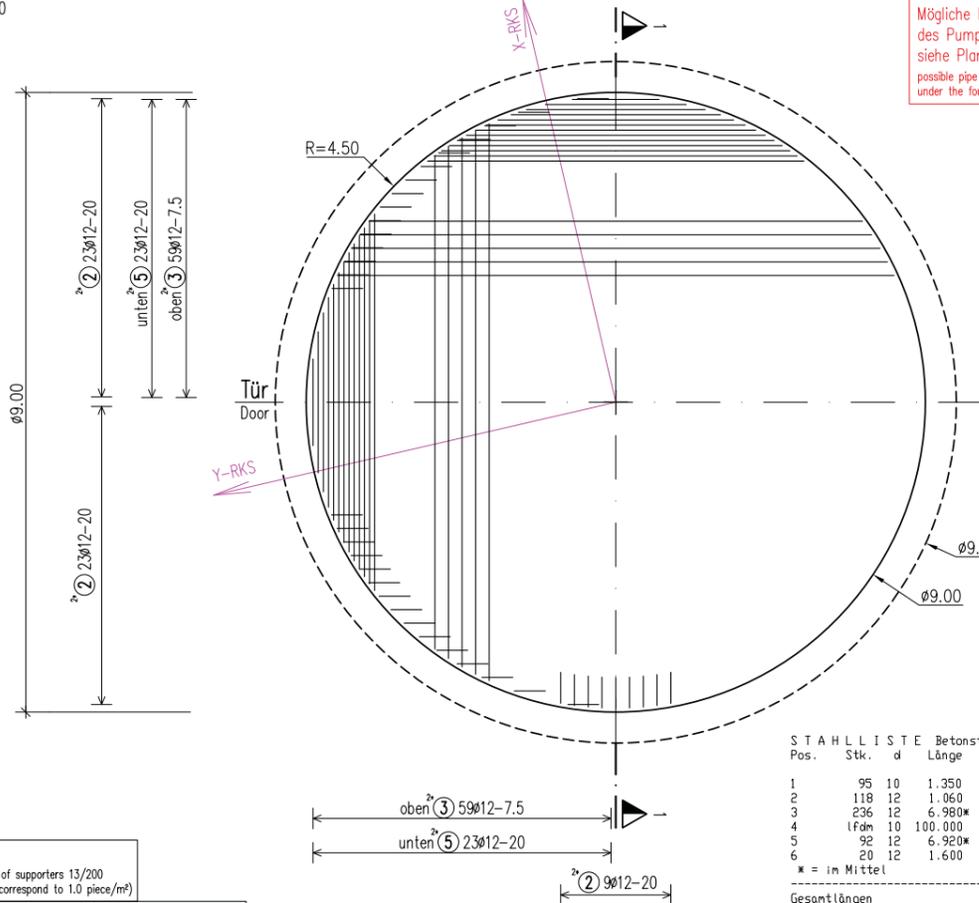
letzte Stabstahlposition / final steel bar position	5	Betonstahl: B500B / reinforcement steel: genß/according to: DIN 488-1 + DIN EN 10080
letzte Mattenposition / final mesh position	-	Betonfestigkeitsklasse: C30/37 / Concrete strength: genß/according to: DIN EN 1992-1-1
Betondeckung [mm] / Concrete cover		
	Expositionsklassen / Exposure classes	Verlegemaß $c_s$ / Laying measurement $c_s$
innen / inside	XC4, XA1, XD1, XF1, WF	55
außen/oben/innen / outside/top/inner	XC4, XA1, XD1, XF1, WF	55/55/55
seitlich / lateral	XC4, XA1, XD1, XF1, WF	55

\* = Die Expositionsklassen müssen ggf. bei betonangreifenden Grundwasser angepasst werden.  
\* Exposure classes have to be adjust, if there is concrete-attacking groundwater.

Nennwert des Größtkorn der Gesteinskörnung  $\leq 32 \text{ mm}$   
Im Bereich des Pumpensumpfes und Rohrdurchführung  $\leq 22 \text{ mm}$   
Maximal grain size of the aggregate  $\leq 32 \text{ mm}$   
In the area of the pump sump and pipe penetration  $\leq 22 \text{ mm}$

GROUND PLAN  
GRUNDRISS

M.: 1:50



Mögliche Leerrohrdurchführung und Lage des Pumpensumpfs unter dem Fundament  
siehe Plan DE\_E20\_281\_XX\_X\_Ubersicht.  
possible pipe penetration and position of pump sump under the foundation see plan DE\_E20\_281\_XX\_X\_Ubersicht.

Spacer  
64 pieces of supporters 13/200  
(a=50cm correspond to 1.0 piece/m<sup>2</sup>)

Abstandhalter  
64 Stück Unterstüzungskörbe 13/200  
(a=50cm entspr. 1.0 Stück/m<sup>2</sup>)

STAHLLISTE Betonstahl: B500B Bauteile: ---

Pos.	Stk.	d	Länge	D10	D12
1	95	10	1.350	128.250	
2	118	12	1.060		125.080
3	236	12	6.980		1647.280
4	10	100.000	100.000		
5	92	12	6.920		636.640
6	20	12	1.600		32.000
* = im Mittel					
Gesamtlängen			228.250	2441.000	
kg / m			D10 0.617	D12 0.888	
kg / d			140.830	2167.608	
Gesamtgewicht (kg)			2308.438		

ABSTANDHALTER

Pos.	Stk.	Typ	kg/Stk.	Gew. (kg)
1	64	13/200	0.662	42.368
Summe				42.368

Betonvolumen: 21.09m<sup>3</sup>  
Gewicht: 52.73 to

Einbau- und Zubehörteilliste

Pos.	E-Nr.	Menge	Einheit	Bezeichnung	SAP Nummer
P1	E496	2	Stück	DF-Blech B2 BETOMAX 20m-Rolle	T0071711
	E495	29	Stück	Fixierbügel BETOMAX für DF-Blech	T0071698
	E492	1	Stück	Injektionsschlauch MONOMAX L=31m	T0071684
P2	E494	8	Stück	Nagelpacker BETONMAX	T0071697
	E497	180	Stück	Schlausschellen mit Kopfbolzen BETOMAX	T0071738

List of installation-parts

Pos.	E-Nr.	Quantity	Unit	Description	SAP number
P1	E496	2	Stück	DF strip B2 BETOMAX 20m-roll	T0071711
	E495	29	Stück	Fixing stirrup BETOMAX for DF strip	T0071698
	E492	1	Stück	Injection hose MONOMAX L=31m	T0071684
P2	E494	8	Stück	Nailed fitting BETONMAX	T0071697
	E497	180	Stück	Hose clamp with cap-head bolts BETOMAX	T0071738

ZUGEHÖRIGE PLANE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan Nr. : _____	Planbezeichnung / plan name
DE_E20_001_XX_X_Ubersicht	Übersichtsplan Gesamturm / layout complete tower
DE_E20_205_XX_X_Schalplan	Schalplan Fundament / form work plan foundation
DE_E20_206_XX_X_Bewehrungsplan	Bewehrungsplan Fundament / foundation reinforcement plan
DE_E20_281_XX_X_Ubersicht	Übersicht Leerrohraustritt / overview pipe penetration

ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA	ENERCON wind turbine generator E-138 EP3-HT-160-ES-C01 E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA
--	---

TYPPRÜFUNG Geltungsdauer  
5 Jahre/Wiedervorlage bis 28.11.2024

3119511-3-e Rev. 3  
Reviewed by TÜV SÜD  
See Report dated: 2020-04-27  
Munich 2020-04-27  
TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Wind Turbines

3119511-3-d Rev. 3  
in bautechnischer Hinsicht geprüft.  
Sehe Prüfbericht vom 27.04.2020  
München 27.04.2020  
TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Prüfamt für Standsicherheit  
von Windenergieanlagen

MAX BÖGL  
Fortschritt baut man aus Ideen

Bauherr: Max Bögl  
Projekt Nr.: 21683

Bauvorhaben: Windkraftanlage  
wind turbine generator  
Blattgr.: .59\*84m

Bauteile: Bodenplatte für Fundament  
bei Grundwasser  
formwork and reinforcement plan  
base plate in groundwater  
Maßstab: 1:50

erst.: Schr. Dat.: 15.10.2019  
gepr.: Reiten. Dat.: 15.10.2019  
freig.: Betz. Dat.: 15.10.2019

Boegl-Planbezeichnung  
D0886118-2

erst.: Schr. Dat.: 15.10.2019  
gepr.: Reiten. Dat.: 15.10.2019  
freig.: Betz. Dat.: 15.10.2019

Land: DE  
Turntyp: E20  
Ringtyp: 207  
Segment: XX  
Bezeichnung: Bewehrung

Index: b

ENERCON-Planbezeichnung  
D0886118-2

Softcod-Dateiname: DE\_E20\_207\_XX\_X\_Bewehrung

# Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
**ENERCON E-138 EP3**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117 568 225 D Rev. 1

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: ENERCON E-138 EP3  
Rotorblatt: E-138 EP3-RB-01  
Max. Nennleistung: 3,5 MW  
Nabenhöhen: 81 m, 111 m, 131 m,  
160 m

**Standortspezifikation:** Windzonen: WZ 2  
Geländekategorie: GK II

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

Diese Zusammenstellung umfasst 5 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	13.12.2019	Erstausgabe	F. Rodriguez
1	16.04.2020	Aktualisierung von Dokumenten	F. Rodriguez

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Lastannahmen .....	3
1.2	Sicherheitssystem und Handbücher.....	4
1.3	Elektrische Komponenten und Blitzschutz .....	4
1.4	Rotorblatt.....	4
1.5	Maschinenbauliche Komponenten .....	4
1.6	Verkleidungen und Strukturen.....	4
2	Prüfgrundlagen .....	5
3	Hinweise und Bedingungen .....	5

## **1 Dokumente**

### **1.1 Lastannahmen**

- [1.1.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
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 -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-1 D I  
Rev. 3, vom 22.08.2019
  
- [1.1.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
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 --  
Bericht Nr.: 8115 022 604-1 D II  
Rev. 2, vom 22.08.2019
  
- [1.1.3] 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.: 8115 920 151-1 D III  
Rev. 2, vom 22.08.2019
  
- [1.1.4] TÜV NORD CERT GmbH:  
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 -  
Bericht Nr.: 8115 920 151-1 D V  
Rev. 2, vom 22.08.2019
  
- [1.1.5] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, NH 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02), DIBt WZ S, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -  
Bericht Nr.: 8115 920 151-1 D VI  
Rev. 2, vom 30.01.2020
  
- [1.1.6] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament -  
Bericht Nr.: 8115 920 151-1 D VII  
Rev. 0, vom 22.08.2019

- [1.1.7] 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 -  
Bericht Nr.: 8115 920 151-1 D IV  
Rev. 5, vom 30.01.2020

## **1.2 Sicherheitssystem und Handbücher**

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3  
- Sicherheitssystem und Handbücher -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-2 D  
Rev. 1, vom 14.04.2020

## **1.3 Elektrische Komponenten und Blitzschutz**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 -  
Elektrische Komponenten und Blitzschutz -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-5 D  
Rev. 1, vom 20.02.2020

## **1.4 Rotorblatt**

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
E-138 EP3, unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen  
- Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-3 D  
Rev. 3, vom 18.03.2020

## **1.5 Maschinenbauliche Komponenten**

- [1.5.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3 - Maschinenbauliche Komponenten -  
Bericht Nr.: 8116 092 817-4 D  
Rev. 2, vom 24.03.2020

## **1.6 Verkleidungen und Strukturen**

- [1.6.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3 - Verkleidungen & Strukturen -  
Bericht Nr.: 8116 092 817-12 D  
Rev. 3, vom 20.03.2020

## 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 Hinweise und Bedingungen

Die Gutachtlichen Stellungnahmen unter Kapitel 1 wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen der Prüfgrundlagen unter Kapitel 2 erstellt.

Es sind die Auflagen und Hinweise der unter Kapitel 1 aufgeführten Gutachtlichen Stellungnahmen zu beachten.

Die gemäß Kapitel 3, Abschnitt I der DIBt-Richtlinie [2.1] erforderlichen bautechnischen Unterlagen liegen vor. Alle weiteren unter Kapitel 3 der Richtlinie [2.1] genannten erforderlichen bautechnischen Unterlagen sind nicht Bestandteil dieser Zusammenstellung.

Der Sachverständige:



Eng. Mecânico F. Rodriguez

Freigegeben:



Dr.-Ing. W. Aldenhoff

# 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.3

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für Turm und Fundament für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Nabenhöhe 130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone 2, Geländekategorie II

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

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	19.07.2018	Erste Fassung	Konstantin Konkel
1	18.12.2018	Überarbeitete Anlagenkonfiguration: Anpassung aller dazugehöriger Unterlagen und Daten; formale Berichts Anpassungen.	Nils Kägeler
2	12.03.2019	Die „Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb“ wurde in Tabelle 4.4. korrigiert. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.	Nils Kägeler
3	22.08.2019	Formale Berichts Anpassungen. 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 .....	5
4.1	Umgebungsbedingungen .....	5
4.2	Sicherheitsklasse .....	6
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-01, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm, E-138 EP3-HT-131-ES-C-01 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0758077-0d  
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  
Eingangsdatum: 24.10.2018

[1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: Winde  
Eingangsdatum: 24.10.2018

[1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei (elektronisch erhalten),  
Dateiname: powprod  
Eingangsdatum: 24.10.2018

## 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 130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01) 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

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Umgebungsbedingungen

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

---

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

	DIBt WZ 2 GK II	IEC IIIA
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	7.47 m/s	7.50 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	30.17 m/s	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	37.71 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 130.54 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-01 (Stahlrohr-Beton-Hybridturm)
Turmhöhe	128.70 m
Nabenhöhe	130.54 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 $V_{in} - V_{out}$	2.5 - 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) MD5 Hashsum "e1f797ee31123e5c9413683f585b00d1"	
Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]
	Cylinder	100%
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45%
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35%
	EC135F-WoRWiT-	35%
	EC128-WoRWiT-	28%

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

	Dateiname	
	EC122-WoRWiT-	22%
	EC116-WoRWiT-	16%
Turmstruktur	Weich: powprod.\$PJ (1.1_w20102) MD5 Hashsum "f278f67a0d67e7b5b62b0161bfca6791" Starr: powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5 Hashsum "e1f797ee31123e5c9413683f585b00d1"	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 Hashsum "1b65c7098ec94a14c51fa59c50022bda" Controller Input: EP3_E138_E-138_EP3_HT_131_ES_C_01_0.5.3.Daten MD5 Hashsum "4f560c03476e56332bfa721e885e2425"	

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°; +0.3°; -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	0.278 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.036 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.277 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.998 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.346 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.361 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.344 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.281 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01)

## 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.

## **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 19.07.2018 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 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

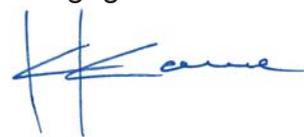
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.54 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und DIN EN 61400-1 [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Nils Kägeler

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3  
RB E-138 EP3-RB-01, 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.2

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für Turm und Fundament für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Nabenhöhe 109.965 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01) bezüglich der DIBt Windzone S, Geländekategorie S

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

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	10.12.2018	Erste Fassung	Nils Kägeler
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-ST-111-FB-C-01, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm E-138 EP3-ST-111-FB-C-01 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0736517-0d  
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: E-138\_EP3-ST-111-FB-C-01\07\_Zeitreihen\_TUV  
Eingangsdatum: 25.10.2018

[1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: Winde\_TUV  
Eingangsdatum: 25.10.2018

[1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei (elektronisch erhalten),  
Dateiname: powprod  
Eingangsdatum: 25.10.2018

## 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 109.965 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01) 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.

---

<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:

	DIN EN 61400-1 IIIA (Extrem)	DIN EN 61400-1 IIIB (Ermüdung)	DIBt WZ 2 GK II
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	7.5 m/s	7.5 m/s	7.26
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	30.00 m/s	-	29.35 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	37.50 m/s	-	36.69 m/s
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s $I_{ref}$	16 %	14 %	16 %
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	-	2 m/s
Höhenexponent $\alpha$ (für EWM)	0.2 (0.11)	0.2	0.2 (0.16)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent $\alpha$ für die Lastfälle DLC1.1, DLC1.3 und DLC1.5	0.0	0.0	0.0
Upflow	8°	8°	8°

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe 109.965 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
Auslegungslebensdauer	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-ST-111-FB-C-01 (Stahlrohrturm)
Turmhöhe	108.13 m
Nabenhöhe	109.965 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 $V_{in} - V_{out}$	2.5 - 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) MD5 Hashsum "faf5acf45653d68169febefca4e16626"	
Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]

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

	Dateiname	
	Cylinder	100
	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 "d93193b96a671cff8b550167f4a9cd6b " Starr: powprod.\$PJ(1.1_s20102) MD5 Hashsum "faf5acf45653d68169febefca4e16626"	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 Hashsum "dff3aacd29a5f43b3e25f91d4cc86262" Controller Input: E-138_EP3_ST_111_FB_C_01_0.4.9.Daten MD5 Hashsum " a779afd714d96a8eaaa49fc8aec624b9"	

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°; +0.3°; -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
Horizontale Drehfeder: $K_{\varphi,dyn}$	250000 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	0.199 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.292 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.198 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.137 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.202 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.307 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.200 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.148 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 109.965 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01)

## 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.

## 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 10.12.2018 gestempelten Unterlagen behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

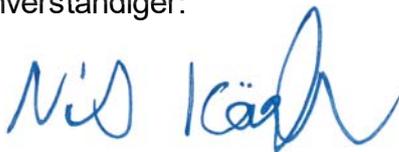
## 6 Auflagen

- 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 (siehe Kapitel 3).

## 7 Schlussfolgerung

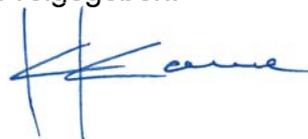
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 109.965 m (E-138 EP3-ST-111-FB-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und DIN EN 61400-1 [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Nils Kägeler

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3  
RB E-138 EP3-RB-01, 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/m³]
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.

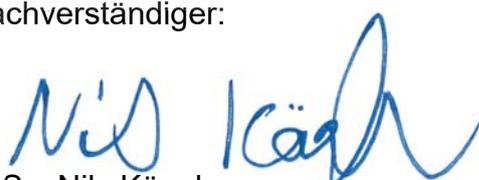
## 6 Auflagen

- 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

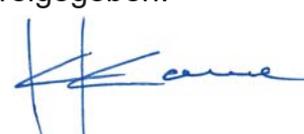
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.02 m (E-138 EP3-HT-131-ES-C-02) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt 2012 [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Nils Kägeler

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3  
RB E-138 EP3-RB-01, 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.2

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für Turm und Fundament für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Nabenhöhe 130.078 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone S, Geländekategorie II

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

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	08.03.2019	Erste Fassung	Simon Wiedemann
1	12.03.2019	„Die Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb“ wurde in Tabelle 4.4. korrigiert. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.	Simon Wiedemann
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-ST-131-FB-C-01, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm, E-138 EP3-ST-131-FB-C-01 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC ”  
Dokument-Nr.: D0783654-0c  
Rev. 0c, 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”  
Document-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: Zeitreihen\_E-138\_EP3\_ST\_131\_FB\_C\_01  
Eingangsdatum: 31.01.2019

[1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: Winde\_E-138\_EP3\_ST\_131\_FB\_C\_01  
Eingangsdatum: 31.01.2019

[1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei (elektronisch erhalten),  
Dateiname: powprod  
Eingangsdatum: 31.01.2019

## 2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen  
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.

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 2012 [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 130.078 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-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.

---

<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 S GK II	IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	6.6 m/s	6.6 m/s
Zusätzlich für die Extremlasten: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	7.46 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 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	37.69 m/s	37.5 m/s
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 130.078 m

Die WEA-Klasse IEC S für diese Windenergieanlage besteht aus der IEC IIIA für Extremlasten und IEC Turbulenzkategorie A mit  $V_{ave} = 6.6$  m/s für Betriebslasten des Turmes.

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

Auslegungslebensdauer	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-ST-131-FB-C-01 (Stahlrohrturm)
Turmhöhe	128.243 m
Nabenhöhe	130.078 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-01
Rotorblattlänge (mit Blattadapter, vorgebogen)	67.6 m
Rotorblattmasse (mit Blattadapter)	21629 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	375517 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.6 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	2.5° upwind
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

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

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) 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	Weich: powprod.\$PJ (1.1_w20102) MD5 Hashsum "d2d74ac34717e139d4b51f8fd82981f9"	
	Starr: powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5 Hashsum "eb332aa65749e45fdb0f9a3132ef0d73"	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 Hashsum "dff3aacd29a5f43b3e25f91d4cc86262" Controller Input: EP3_E138__E-138_EP3_E2_ST_131_GRI_DW__0.4.9.Daten MD5 Hashsum "24f440f99ca5c63b9453aec103bbb3db"	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

Zur adäquaten Berücksichtigung von Fertigungs- und Montageteranzen 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°; +0.3°; -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
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	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	0.153 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.947 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.152 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.862 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	0.157 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	0.977 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	0.156 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	0.886 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.078 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-01)

## 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.

Die Definition der Designlastfälle wurde unter Berücksichtigung der Design Basis [1.2.1] auf Vollständigkeit sowie auf Konformität mit der Richtlinie [2.1] und [2.3] überprüft.

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 dem Dokument [1.1.1] 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 08.03.2019 gestempelten Unterlagen behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

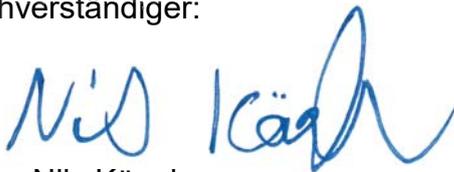
## 6 Auflagen

- 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] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 130.078 m (E-138 EP3-ST-131-FB-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC 61400-1 Ed.3 [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, NH 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138  
EP3 E2-ST-81-FB-C-02)  
DIBt WZ S, GK II**

### - Lastannahmen für Turm und Fundament -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8115920151-1 D VI Rev.2

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für Turm und Fundament für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Nabenhöhe 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02) bezüglich der DIBt 2012 Windzone S, Geländekategorie II

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

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	08.03.2019	Erste Fassung	Nils Kägeler
1	22.08.2019	Formale Berichtsanpassungen. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.	Nils Kägeler
2	30.01.2020	Turm E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02 hinzugefügt.	Konstantin Konkel

## 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 .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
“ Lastenbericht, Turm E-138 EP3-ST-81-FB-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm, E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 der WEA E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC ”  
Dokument-Nr.: D0736523-0c  
Rev. 0c, 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
- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme Turm C-02,  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation Frequenzvergleich”  
Dokument-Nr.: D0879872-2  
Rev. 2, Datum: 30.01.2020

### **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: Zeitreihen\_E-138\_EP3\_ST\_81\_FB\_C\_01  
Eingangsdatum: 31.01.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: Winde\_E-138\_EP3\_ST\_81\_FB\_C\_01  
Eingangsdatum: 31.01.2019

- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei (elektronisch erhalten),  
Dateiname: powprod  
Eingangsdatum: 31.01.2019

## 2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen  
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. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden formale Berichts Anpassungen umgesetzt. Die geprüften Lasten sind von dieser Änderung nicht beeinflusst.

Mit Rev. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde der Turm E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02 hinzugefügt.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt 2012 [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 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138 EP3 E2-ST-81-FB-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] 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.

---

<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 S GK II	IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	6.6 m/s	6.6 m/s
Zusätzlich für die Extremlasten: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	6.91 m/s	7.5 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	27.92 m/s	30 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	34.90 m/s	37.5 m/s
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 80.415 m

Die WEA-Klasse IEC S für diese Windenergieanlage besteht aus der IEC IIIA für Extremlasten und IEC Turbulenzkategorie A mit  $V_{ave} = 6.6$  m/s für Betriebslasten des Turmes.

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.

Maximale elektrische Nennleistung	3500 kW
Turmtyp	E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 (& E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02) (Stahlrohrturm)
Turmhöhe	78.58 m
Nabenhöhe	80.415 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-01
Rotorblattlänge (mit Blattadapter, vorgebogen)	67.6 m
Rotorblattmasse (mit Blattadapter)	21629 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	375517 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.6 m
Rotordurchmesser (inkl. Vorbiegung und Konuswinkel)	138.25 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	2.5° upwind
Rotornennendrehzahl $n_r$	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

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

Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	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) MD5 Hashsum "453a0b5466ccbb0c81e7ec3553471327"	
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	Weich: powprod.\$PJ (1.1_w20102) MD5 Hashsum "42177a80f43cfda7713473863de9a70f"	
	Starr: powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5 Hashsum "453a0b5466ccbb0c81e7ec3553471327"	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 Hashsum "dff3aacd29a5f43b3e25f91d4cc86262" Controller Input: E-138_EP3_ST_80_FB_C_01_0.4.9_PA3.Daten MD5 Hashsum "2c3a9020d9619950660f507798551206"	

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°; +0.3°; -0.3°

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern wurden nicht berücksichtigt.

<sup>3</sup> Start der Sturmregelung bei 22 m/s

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
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	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	0.302 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.660 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.298 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.437 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	0.313 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	1.713 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	0.308 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt -frei, inkl. Turmkopfmasse	1.453 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01)

## 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.

Die Definition der Designlastfälle wurde unter Berücksichtigung der Design Basis [1.2.1] auf Vollständigkeit sowie auf Konformität mit der Richtlinie [2.1] und [2.3] überprüft.

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] - [1.1.3] 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 geprüften Unterlagen /1.1/ wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen. Die bereits mit Revision 0 geprüften und gestempelten Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] 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] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC 61400-1 Ed.3 [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

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

M.Sc. Konstantin Konkel

Freigegeben:

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

Dr. rer. nat. Julia Hinkel

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3  
RB E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01)  
DIBt WZ 2, GK II

### - Lastannahmen für Turm und Fundament-

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8115920151-1 D VII Rev.0

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für Turm und Fundament für die Windenergieanlage E-138 EP3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, Nabenhöhe 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone 2, Geländekategorie II

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

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	22.08.2019	Erste Fassung	Nils Kägeler

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	3
3	Einleitung .....	4
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	5
4.1	Umgebungsbedingungen .....	5
4.2	Sicherheitsklasse .....	6
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	7
5	Durchgeführte Prüfungen.....	9
5.1	Prüfmethode.....	9
5.2	Anmerkungen.....	9
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-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Turm, E-138 EP3-HT-160-ES-C-01 der WEA E-138 EP3  
mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC”  
Dokument-Nr.: D0736519-0a  
Rev. 0a, 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: Zeitreihen  
Eingangsdatum: 10.07.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: Winde  
Eingangsdatum: 10.07.2019
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei (elektronisch erhalten),  
Dateiname: powprod  
Eingangsdatum: 10.07.2019

## **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 Turm und Fundamentlasten der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

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 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01) 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.

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Umgebungsbedingungen

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

---

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

	<b>DIBt WZ 2 GK II</b>	<b>IEC IIIA</b>
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	7.71 m/s	7.5 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	31.17 m/s	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	38.96 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 160.0 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.

	<b>Luftdichte [kg/m³]</b>
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-160-ES-C-01 (Stahlrohr-Beton-Hybridturm)
Turmhöhe	158.2 m
Nabenhöhe	160.0 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 "86dfda0bac162b2c3ec07979bfff6d5c "	
Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]
	Cylinder	100%
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45%
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35%
	EC135F-WoRWiT-	35%
	EC128-WoRWiT-	28%

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

	EC122-WoRWiT-	22%
	EC116-WoRWiT-	16%
Turmstruktur	Weich: powprod.\$PJ (1.1_w20102) MD5 Hashsum "d13b2b003e180ff6ec50c1b5e62a3fd1" Starr: powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5 Hashsum "86dfda0bac162b2c3ec07979bfff6d5c"	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 Hashsum "dff3aacd29a5f43b3e25f91d4cc86262" Controller Input: Regler_E-138_EP3_HT_160_ES_C_01.Daten MD5 Hashsum "6156332ed5cb478002f9323694c37908"	

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: $k_{\varphi,dyn}$	210000 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	0.212 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.814 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.210 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.782 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.225 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.938 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.223 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.890 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01)

## 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 dem Dokument [1.1.1] 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. Die geprüfte Unterlage [1.1.1] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.
- 5.4.10. Bei Verwendung der Lastannahmen [1.1.1] für eine modifizierte Turmhöhe, wie in Kapitel 3 beschrieben, müssen Turm- und Fundamentlasten extrapoliert werden.

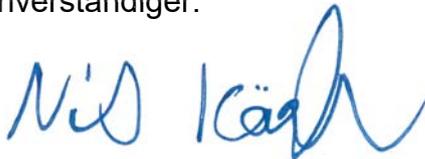
## 6 Auflagen

- 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

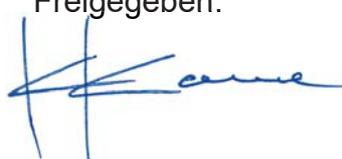
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3, E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur DIBt 2012 [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. 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.5
<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 14 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
4	22.08.2019	Hinzugefügte Anlagenkonfiguration; Formale Berichts Anpassungen	Nils Kägeler
5	30.01.2020	Aktualisierung des Turmlastberichts [1.2.6].	Konstantin Konkel

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	4
	1.1 Geprüfte Dokumente .....	4
	1.2 Dazugehörige Dokumente.....	5
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einleitung .....	7
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	8
	4.1 Umgebungsbedingungen .....	8
	4.2 Sicherheitsklasse .....	9
	4.3 Beschreibung des Anlagenmodells .....	9
5	Durchgeführte Prüfungen.....	12
	5.1 Prüfmethode.....	12
	5.2 Anmerkungen.....	12
	5.3 Prüfergebnis.....	12
	5.4 Schnittstellen.....	13
6	Auflagen.....	13
7	Schlussfolgerung .....	14

## **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.: D0722965-3a  
Rev. 3a, Datum: 19.08.2019
- [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.: D0722969-3a  
Rev. 3a, Datum: 19.08.2019
- [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.: D0722967-3a  
Rev. 3a, Datum: 19.08.2019
- [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.: D0722968-3a  
Rev. 3a, Datum: 19.08.2019
- [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.: D0736544-0d  
Rev. 0d, 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] 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. 2, Datum: 22.08.2019
- [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. 3, Datum: 22.08.2019
- [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. 2, Datum: 22.08.2019
- [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. 2, Datum: 22.08.2019

[1.2.6] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02,

“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, NH 80.415 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-01 & E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-02), DIBt WZ S, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament - “

TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D VI

Rev. 2, Datum: 30.01.2020

[1.2.7] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3-HT-160-ES -C-01,

“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, NH 160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament - “

TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D VII

Rev. 0, Datum: 22.08.2019

## 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] - [1.2.7] genauer beschrieben sind. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.5] 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] - [1.2.7] 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] - [1.2.7] zu entnehmen.

Mit Rev. 4 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde eine Anlagenkonfiguration hinzugefügt und formale Berichts Anpassungen umgesetzt.

Mit Rev.5 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde das Turmlastdokument [1.2.6] aktualisiert.

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] - [1.2.7]	7.5 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.7]	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.7]	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.

Maximale elektrische Nennleistung	3500 kW
Turmtyp	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turmhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Nabenhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
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
Rotordurchmesser (inkl. Vorbiegung und Konuswinkel)	138.25 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] - [1.2.7]	
Controller	siehe [1.2.2] - [1.2.7]	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

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: $k_{\varphi,dyn}$	siehe [1.2.2] - [1.2.7]

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] - [1.2.7]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.7]

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 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 keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1]. Dies erfolgte bereits in den Prüfungen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.7].
- 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. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.5] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen. Die gestempelten Unterlagen der Revision 4 bleiben weiterhin gültig.
- 5.4.10. Die Betriebslasten aus [1.1.1] berücksichtigen keine Lasten für weniger als 1000 akkumulierte Zyklen.

## 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] - [1.1.5] 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:

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

M.Sc. Konstantin Konkel

Freigegeben:

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

Dr. rer. nat. Julia Hinkel

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

**TÜV NORD Bericht-Nr.:** 8115 022 604-2 D Rev. 1

**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
1	14.04.2020	Ergänzung HT160m, Revision von Unterlagen, Löschung von Auflagen	Raupach

## Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen .....	3
1.1	Geprüfte Unterlagen .....	3
1.2	Zugehörige Unterlagen .....	3
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einführung .....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage.....	7
4.1	Turbinen Konfiguration .....	7
4.2	Temperaturvariante .....	8
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem .....	8
4.4	Mechanische Bremse .....	9
5	Durchgeführte Prüfung .....	9
5.1	Prüfmethodik .....	9
5.2	Anmerkungen .....	9
5.3	Prüfergebnisse .....	10
5.3.1	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem .....	10
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  
Document-No: D0612062-6  
Rev. 6, 2019-08-05
- [1.1.2] ENERCON GmbH  
Safety Concept / Sicherheitskonzept ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Document-No: D0584229-9  
Rev. 9, 2018-12-21
- [1.1.3] ENERCON GmbH  
Safety Plan / Sicherheitsplan ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Document-No: D0586363-5  
Rev. 5, 2018-12-21
- [1.1.4] ENERCON GmbH  
Risikobeurteilung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3  
Document-No: D0551207-1Risikobeurteilung E-138 EP3.xlsx  
Rev. 1, not dated
- [1.1.5] ENERCON GmbH  
System FMEA Sicherheitssystem E-138 EP3  
Document-No: D0762718-2  
Rev. 2, dated 2018-12-14
- [1.1.6] ENERCON GmbH  
Teilsystem FMEA Sicherheitssteuerung E-138 EP3  
Document-No: D0615455-1  
Rev. 1, dated 2017-12-21
- [1.1.7] ENERCON GmbH  
Safety Requirement Specification / Spezifikation der Anforderungen an die Funktionale Sicherheit  
Document-No: D0588136-14  
Rev. 14, dated 2018-08-24
- [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  
Document-No: D0727008-0  
Rev. 0, dated 2018-09-12
- [1.1.10] ENERCON GmbH  
Spezifikation / System Requirement Specification E-138 EP3 Scoping  
Document-No: D0634801-1  
Rev. 1, dated 2018-02-09
- [1.1.11] ENERCON GmbH  
Steuerungsplattform EP-CS-02 - Safety Requirement Specification -  
Document-No: D0496837-0  
Rev. 0, dated 2017-02-22
- [1.1.12] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Fehlermodes  
Control System E-138 EP3  
Document-No: D0742307-0  
Rev. 0, dated 2018-09-28
- [1.1.13] ENERCON GmbH  
Prototypentestplan E-138 EP3  
Document-No: D0717805-0  
Rev. 0, dated 2018-06-25
- [1.1.14] ENERCON GmbH  
Wartungsanleitung Hauptwartung Windenergieanlage E-138 E3  
Document-No: D0768894-2  
Rev. 2, dated 2019-05-28
- [1.1.15] ENERCON GmbH  
Inbetriebnahmeanleitung Windenergieanlage E-138 EP3 (EP3-CS-02)  
Document-No: D0761538-0  
Rev. 0, dated 2018-10-26
- [1.1.16] ENERCON GmbH  
Aufbauanleitung Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul  
Document-No: TD-esc-08-de-de-16-015  
Rev. 003, dated 2018-10-26
- [1.1.17] ENERCON GmbH  
Montageanleitung Vormontage und Montage Gondel  
Windenergieanlage E-138 EP3  
Document-No: TD-esc-08-de-de-18-073  
Rev. 003, submitted 2018-11-06

- [1.1.18] ENERCON GmbH  
Arbeitsanleitung Verkabelung Gondel  
Windenergieanlage E-138 EP3  
Document-No: TD-esc-08-de-de-18- Rev000 / DC  
Rev. 0, dated 2018-11-05
- [1.1.19] ENERCON GmbH  
Verladehandbuch E-126/E-138 EP3  
Document-No: PLM-TES-DC032-VH\_E-126\_E-138\_EP3-Rev000de-de.  
Rev. 0, dated 2019-02-26
- [1.1.20] ENERCON GmbH  
Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften, WEA Service  
Document-No: BA\_bl\_1001-1\_Gesundheits-, Arbeits- und  
Umweltschutzvorschriften\_WEA-Service\_Rev001\_de-de  
Rev. 1, dated 2019-12-12
- [1.1.21] ENERCON GmbH  
Stellungnahme des Betriebs in Abhängigkeit der Außentemperatur für NC u. CC  
Document No.: D0942308-0 / DZ  
Rev. 0, dated 2020-03-25
- [1.1.22] Max Bögl  
Errichtungsanleitung / Assembly manual  
Document: WEA ErrAnl E20  
dated 2020-03-16
- 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  
Überdrehzahlabstimmungen  
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 Anlagen-Konfiguration

Die ENERCON E-138 EP3 ist eine dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlage mit einer max. 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
Max. 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  $-15^{\circ}\text{C}$  bis mindestens  $+30^{\circ}\text{C}$ . Bei höheren Umgebungstemperaturen und gleichzeitig starkem Wind kann das Betriebsführungssystem die Windenergieanlage, abhängig von den aktuellen Standortbedingungen, mit reduzierter Leistung betreiben.

Im Temperaturbereich von  $-15^{\circ}\text{C}$  bis  $-25^{\circ}\text{C}$  wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Zwischen  $-25^{\circ}\text{C}$  und  $-40^{\circ}\text{C}$  bleibt die Anlage mit maximal 25% der Nennleistung weiter in Betrieb. Wenn die Temperatur unter  $-40^{\circ}\text{C}$  fällt, stoppt die Windenergieanlage. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von  $-35^{\circ}\text{C}$  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 [1.1.16] 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 Das Handbuch für die Turminstallation muss mit den entsprechenden Informationen für die Nabenhöhen von 131 m (ST / HT) ergänzt und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung vorgelegt werden.
- 6.2 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.
- 6.3 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

## Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3

### - Elektrische Komponenten und Blitzschutz -

<b>TÜV NORD Report-Nr.:</b>	8115 022 604 - 5 D Rev. 1
<b>Prüfobjekt:</b>	Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3
<b>Prüfumfang:</b>	- DIBt 2012 - DIN EN 61400-1
<b>Hersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 32 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	06.09.2019	Erste Fassung	H. Grafe
1	20.02.2020	Prüfberichte für Generator und Umrichter hinzugefügt Schaltpläne aktualisiert EMV-Risikobeurteilungen aufgelistet	H. Grafe

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	4
1.1	Geprüfte Dokumente .....	4
1.2	Mitgeltende Dokumente .....	20
2	Prüfgrundlagen .....	20
3	Einleitung .....	21
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	21
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen .....	21
4.2	Klimatische Bedingungen .....	22
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten .....	22
5	Durchgeführte Prüfungen .....	26
5.1	Prüfmethode .....	26
5.2	Anmerkungen .....	27
5.3	Prüfbemerkungen .....	27
5.4	Schnittstellen .....	32
6	Auflagen .....	32
7	Schlussfolgerung .....	32

## 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

- [1.1.9] ENERCON  
Messbericht des Generators E-138 EP3-GE-01 gem. EN 60034-1. -11  
Dokument-Nr.: D0830439-0  
Rev. -, Datum: 14.02.2020

### Umrichter

- [1.1.10] ENERCON  
Technische Beschreibung 690V B2B Converter PC17034  
Dokument-Nr.: D0409186-0  
Rev. 0, Datum: 09.11.2018
- [1.1.11] ENERCON  
Datenblatt PC17034 B2B-Umrichter (Artikel-Nr. 663699)  
Dokument-Nr.: D0798538-0 / DA  
Rev. 0, Datum: 06.03.2019 (empfangen)
- [1.1.12] ENERCON  
Technische Information Kühlung Leistungsschrank B2B PC17034  
Dokument-Nr.: D0754087-0 / DA  
Rev. -, Datum: 01.10.2018
- [1.1.13] ENERCON  
Zeichnung Leistungsschrank mit Prime-Pack Modulen – Baugruppenüber-  
sicht  
Dokument-Nr.: D0749015-0  
Rev. 0, Datum: 17.09.2018
- [1.1.14] ENERCON  
Schaltplan Leistungsschrank  
Dokument-Nr.: D0781223-2  
Rev. 2, Datum: 03.05.2019
- [1.1.15] ENERCON  
Typenschild 690V B2B Converter PC17034  
Dokument-Nr.: D0787928-0  
Rev. 0, Datum: 29.01.2019
- [1.1.16] ENERCON  
Messbericht PC17034 Erwärmungslauf TRL6  
Dokument-Nr.: D0817165-0  
Rev. 0, Datum: 17.04.2019
- [1.1.17] ENERCON  
Prüfprotokoll – Leistungsschrank B2B (Leistungstest)  
Seriennummer: 15-10  
Rev. 0, Datum: 26.07.2018

- [1.1.18] ENERCON  
Versuchsprotokoll B2B Chopper eingebaut im Versuchsträger  
Dokument-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD  
Rev. 0, Datum: 01.02.2016
  
- [1.1.19] ENERCON  
Versuchsprotokoll Kurzschluss DC-seitig – Version Thyristor  
Dokument-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD  
Rev. 0, Datum: 01.02.2016
  
- [1.1.20] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung der Vollständigkeit des Schutzgehäuses B2B V1  
Dokument-Nr.: D0850230-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.21] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung Kondensatorentladung B2B V1  
Dokument-Nr.: D0850716-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.22] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung Messung des Berührungstromes B2B V1  
Dokument-Nr.: D0850970-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.23] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung Erwärmungsprüfung B2B V1  
Dokument-Nr.: D0896794-0  
Rev. 0, Datum: 18.02.2020
  
- [1.1.24] ENERCON  
Prüfbericht, Wechsel- oder Gleichspannungsprüfung B2B V1  
Dokument-Nr.: D0927995-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.25] ENERCON  
Prüfbericht, Trockene Wärme Prüfung B2B V1  
Dokument-Nr.: D0928000-0  
Rev. 0, Datum: 18.02.2020
  
- [1.1.26] AIT  
Prüfbericht, ENERCON\_EN62447-1 B2B-Umrichter 365kVA  
Dokument-Nr.: SGP-15893\_01R1  
Rev. R1, Datum: 17.01.2020

## Blitzschutz

- [1.1.27] ENERCON  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Blitzschutz  
Dokument-Nr.: D0260891-7  
Rev. -, Datum: 16.02.2018
  
- [1.1.28] ENERCON  
Technische Information Messung des Erdungswiderstands  
Dokument-Nr.: PLM-EWES-DC008-Messung des Erdungswiderstands-  
Rev006de-de  
Rev. 6, Datum: 30.08.2016
  
- [1.1.29] ENERCON  
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan – Flachgründung mit Auftrieb  
Dokument-Nr.: D0689733-0  
Rev. -, Datum: 28.03.2018
  
- [1.1.30] ENERCON  
Technische Beschreibung Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-138 EP3-  
RB-01  
Dokument-Nr.: D0650138-0  
Rev. 0, Datum: 08.01.2018
  
- [1.1.31] TÜV Süd  
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem  
Prüfnummer: 2632058-31-d  
Rev. 0, Datum: 30.08.2017
  
- [1.1.32] ENERCON  
Blitzschutzsystem Zusammenbau  
Dokument-Nr.: R1381.190.10000  
Rev. 0, Datum: 21.03.2018
  
- [1.1.33] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile  
Dokument-Nr.: R1381.190.10001  
Rev. 1, Datum: 28.08.2018
  
- [1.1.34] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel  
Dokument-Nr.: R1381.190.10002  
Rev. 2, Datum: 16.10.2018
  
- [1.1.35] ENERCON  
Blitzschutzsystem Rezeptor 70  
Dokument-Nr.: R01.190.015  
Rev. 2, Datum: 25.11.2014

- [1.1.36] ENERCON  
Blitzschutzsystem Rezeptor 70-45 mm  
Dokument-Nr.: R01.190.023  
Rev. 2, Datum: 25.11.2014
  
- [1.1.37] ENERCON  
Verbindung Kontaktmutter  
Dokument-Nr.: R01.190.10001  
Rev. 0, Datum: 04.09.2015
  
- [1.1.38] ENERCON  
Kabelhalter Kabelklemmprofil  
Dokument-Nr.: R01.190.10006  
Rev. 2, Datum: 15.08.2017
  
- [1.1.39] ENERCON  
Blitzschutzsystem Omega Profil 500mm  
Dokument-Nr.: R01.190.10029  
Rev. 1, Datum: 21.12.2017
  
- [1.1.40] ENERCON  
Blitzschutzsystem Kontaktschraube  
Dokument-Nr.: R01.190.10032  
Rev. 0, Datum: 07.11.2016
  
- [1.1.41] ENERCON  
Kabelhalter Kabelklemmprofil 55 mm  
Dokument-Nr.: R01.190.10033  
Rev. 1, Datum: 15.08.2017
  
- [1.1.42] ENERCON  
Blitzschutzsystem Kabelsicherung Lasteinleitungsrippe  
Dokument-Nr.: R01.190.10034  
Rev. 1, Datum: 09.10.2017
  
- [1.1.43] ENERCON  
Blitzschutzsystem Kabelschutz Lasteinleitungsrippe  
Dokument-Nr.: R01.190.10045  
Rev. 0, Datum: 16.01.2018
  
- [1.1.44] ENERCON  
RBL Schale Druck- und Saugseite GFK Einleger Rezeptor  
Dokument-Nr.: R1031.130.10010  
Rev. 0, Datum: 06.12.2016

[1.1.45] ENERCON  
Blitzschutzsystem PU - Block  
Dokument-Nr.: R1031.190.10001  
Rev. 0, Datum: 21.09.2016

[1.1.46] ENERCON  
Blitzschutzsystem Ableitring  
Dokument-Nr.: R1265.190.10003  
Rev. 0, Datum: 16.01.2018

#### Schleifringübertrager

[1.1.47] ENERCON  
Zeichnung Schleifring 79mm 3x70mm<sup>2</sup> Axialanschluss  
Dokument-Nr.: EP3.08.107-0  
Rev. -, Datum: 26.06.2018

[1.1.48] Schunk  
Zeichnung Doppel-Schenkel-Halter 32x16x28  
Dokument-Nr.: E06.2116.11; ENERCON Dokument-Nr.: D0667050-0  
Rev. -, Datum: 18.01.2018

[1.1.49] Schunk  
Zeichnung Doppel-Schenkel-Halter 40x16x28  
Dokument-Nr.: E06.2116.10; ENERCON Dokument-Nr.: D0667051-0  
Rev. -, Datum: 18.01.2018

[1.1.50] ENERCON  
Spezifikation Schleifringübertrager EP3-002-BH1  
Dokument-Nr.: D0768107-0  
Rev. 0, Datum: 16.11.2018

#### Elektrischer Azimutantrieb

[1.1.51] ENERCON  
Spezifikation Azimutmotor 3,3 kW MK 115 03 - 2  
Dokument-Nr.: D0236907-2  
Rev. 2, Datum: 09.05.2018

[1.1.52] ENERCON  
Zeichnung Azimutmotor 3,3kW 45Nm 2. Wellenende  
Dokument-Nr.: 115.03.005-1  
Rev. 1, Datum: 23.08.2013

[1.1.53] 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

- [1.1.54] Ruckh Elektromotorenbau  
Erklärung der EG-Konformität TRB112M-4 PT100 Brake E115  
ENERCON Dokument-Nr.: D0706336-0  
Rev. -, Datum: 01.02.2018
  
- [1.1.55] Ruckh Elektromotorenbau  
Zeichnung E115 Azimut-Antrieb ohne Pulsor  
Dokument-Nr.: 227.0000010.01; ENERCON Dokument-Nr.: D0706338-0  
Rev. -, Datum: 25.05.2018 (empfangen)
  
- [1.1.56] ENERCON  
Messbericht Azimutmotor E-101/ E-115 Ruckh Prototyp 2  
Dokument-Nr.: D0249287  
Rev. 0, Datum: 30.04.2010
  
- [1.1.57] Emod Motoren  
Motordatenblatt B 112M/4 WU  
ENERCON Dokument-Nr.: D0393294-0  
Rev. -, Datum: 30.04.2014

#### Elektrischer Pitchantrieb

- [1.1.58] ENERCON  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Elektrisches Blattverstellsystem  
Dokument-Nr.: D0744064-0  
Rev. 0, Datum: 25.09.2018
  
- [1.1.59] ENERCON  
Spezifikation Blattverstellmotor EP3/3  
Dokument-Nr.: D0645627-3  
Rev. 3, Datum: 09.08.2018
  
- [1.1.60] ENERCON  
Zeichnung Blattverstellmotor DC-5.6kW-38x58-FF265-65  
Dokument-Nr.: EP3.01.072-0  
Rev. 0, Datum: 09.02.2018
  
- [1.1.61] 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
  
- [1.1.62] Emod Motoren  
Datenblatt DC Pitchmotor ENERCON EP3/3  
ENERCON Dokument-Nr.: D0796560-0  
Rev. 3, Datum: 22.10.2018

- [1.1.63] 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
- [1.1.64] Ruckh Elektromotorenbau  
Erklärung EG-Konformität  
ENERCON Dokument-Nr.: D0674008-0  
Rev. -, Datum: 01.02.2018
- [1.1.65] 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

- [1.1.66] Maxwell  
Data sheet K2 Series Ultracapacitors  
Dokument-Nr.: 1015370.2; ENERCON Dokument-Nr.: D0157215-1  
Rev. -, Datum: 01.06.2018 (empfangen)
- [1.1.67] 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

- [1.1.68] ENERCON  
Auslegung Turmkabel E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0709537-0  
Rev. 0, Datum: 15.11.2018 (empfangen)
- [1.1.69] Prysmian  
Data sheet PROTOTHEN-X (N)A2XSY  
ENERCON Dokument-Nr.: D0629505-0  
Rev. -, Datum: 31.07.2017
- [1.1.70] Prysmian  
Data sheet WINDFLEX GLOBAL EMC S-3GDSHOEU  
ENERCON Dokument-Nr.: D0630109-0  
Rev. -, Datum: 04.09.2017

- [1.1.71] ENERCON  
Technical Description ENERCON Wind Energy Converter Steady-State  
Short-Circuit Calculations  
Dokument-Nr.: D0138322-9  
Rev. 9, Datum: 23.02.2018

### Schaltpläne

- [1.1.72] ENERCON  
Übersichtsschaltplan E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0665240-1  
Rev. 1, Datum: 23.04.2019
- [1.1.73] ENERCON  
Blattregelschrank  
Dokument-Nr.: D0714434-2  
Rev. 2, Datum: 11.02.2019
- [1.1.74] ENERCON  
Blattrelaisschrank  
Dokument-Nr.: D0709944-2  
Rev. 2, Datum: 14.02.2019
- [1.1.75] ENERCON  
Blattsicherheitsschrank  
Dokument-Nr.: D0742995-2  
Rev. 2, Datum: 09.09.2019
- [1.1.76] ENERCON  
Kondensatoreinheit Rotor  
Dokument-Nr.: D0517670-1  
Rev. 1, Datum 27.01.2017
- [1.1.77] ENERCON  
Rotorunterverteilung  
Dokument-Nr.: D0713816-2  
Rev. 2, Datum: 07.12.2018
- [1.1.78] ENERCON  
Schleifringübertrager  
Dokument-Nr.: D0749133-2  
Rev. 2, Datum: 30.08.2019
- [1.1.79] ENERCON  
Überdrehzahlschalterbox  
Dokument-Nr.: D0787934-1  
Rev. 1, Datum: 03.07.2019

- [1.1.80] ENERCON  
Überspannungsschutz Rotor  
Dokument-Nr.: D0717699-0  
Rev. 0, Datum: 25.06.2018
  
- [1.1.81] ENERCON  
Unterverteilung Blattverstellung  
Dokument-Nr.: D0653208-2a  
Rev. 2, Datum: 12.06.2018
  
- [1.1.82] ENERCON  
Unterverteilung Rotorsensorik  
Dokument-Nr.: D0716502-1  
Rev. 1, Datum: 11.09.2018
  
- [1.1.83] ENERCON  
Gondelsteuerschrank  
Dokument-Nr.: D0758518-2  
Rev. 2, Datum: 24.09.2019
  
- [1.1.84] ENERCON  
Akkuschrank  
Dokument-Nr.: D0665360-0  
Rev. 0, Datum: 16.01.2018
  
- [1.1.85] ENERCON  
Azimutsteuerung  
Dokument-Nr.: D0685894-4  
Rev. 4, Datum: 12.09.2019
  
- [1.1.86] ENERCON  
Erregersteller  
Dokument-Nr.: D0791859-1  
Rev. 1, Datum: 28.08.2019
  
- [1.1.87] ENERCON  
Fehlerstromüberwachung Generator  
Dokument-Nr.: D0743703-2a  
Rev. 2a, Datum: 05.07.2019
  
- [1.1.88] ENERCON  
Freischaltbox Blattheizung  
Dokument-Nr.: D0722985-1  
Rev. 1, Datum: 06.12.2018

- [1.1.89] ENERCON  
Hauptverteilung Gondel  
Dokument-Nr.: D0765814-2  
Rev. 2, Datum: 23.08.2019
  
- [1.1.90] ENERCON  
Schaltschrank el. Grundversorgung Gondel  
Dokument-Nr.: D0724906-2  
Rev. 2, Datum: 16.11.2018
  
- [1.1.91] ENERCON  
Statorunterverteilung  
Dokument-Nr.: D0706547-2  
Rev. 2, Datum: 09.10.2018
  
- [1.1.92] ENERCON  
Überspannungsschutz Generator  
Dokument-Nr.: D0771730-2  
Rev. 2, Datum: 18.07.2019
  
- [1.1.93] ENERCON  
Unterverteilung Dachmodul  
Dokument-Nr.: D0665663-3  
Rev. 3, Datum: 06.12.2019
  
- [1.1.94] ENERCON  
Unterverteilung  
Dokument-Nr.: D0750427-0  
Rev. 0, Datum: 18.09.2018
  
- [1.1.95] ENERCON  
Unterverteilung Statortemperaturfühler  
Dokument-Nr.: D0745793-0a  
Rev. 0a, Datum: 28.09.2018
  
- [1.1.96] ENERCON  
Elektrische Ausrüstung  
Dokument-Nr.: D0661624-0  
Rev. 0, Datum: 29.12.2017
  
- [1.1.97] ENERCON  
Elektrische Ausrüstung  
Dokument-Nr.: D0710098-1  
Rev. 1, Datum: 14.02.2019

- [1.1.98] ENERCON  
Hauptverteilung WEA  
Dokument-Nr.: D0790843-1a  
Rev. 1a, Datum: 19.06.2019
  
- [1.1.99] ENERCON  
Netzfilterschrank  
Dokument-Nr.: D0642619-1  
Rev. 1, Datum: 20.09.2018
  
- [1.1.100] ENERCON  
Schaltschrank el. Grundversorgung WEA  
Dokument-Nr.: D0711535-3  
Rev. 3, Datum: 30.07.2019
  
- [1.1.101] ENERCON  
Steuerschrank Transformator  
Dokument-Nr.: D0757359-2b  
Rev. 2b, Datum: 05.09.2019
  
- [1.1.102] ENERCON  
Steuerschrank Rückkühleinheit  
Dokument-Nr.: D0731028-4  
Rev. 4, Datum: 20.03.2019
  
- [1.1.103] ENERCON  
Steuerschrank Kühlkomponenten  
Dokument-Nr.: D0744283-3  
Rev. 3, Datum: 22.03.2019
  
- [1.1.104] ENERCON  
Steuerschrank  
Dokument-Nr.: D0783791-1  
Rev. 1, Datum: 23.04.2019
  
- [1.1.105] ENERCON  
Stromschiene  
Dokument-Nr.: D0748725-1  
Rev. 1, Datum: 20.03.2019
  
- [1.1.106] ENERCON  
USV Anlagensteuerung  
Dokument-Nr.: D0661298-3  
Rev. 3, Datum: 06.12.2018

[1.1.107] ENERCON  
Versorgung Steuerschrank Transformator  
Dokument-Nr.: D0686326-1  
Rev. 1, Datum: 14.08.2018

[1.1.108] ENERCON  
DC Ladeeinheit  
Dokument-Nr.: D0686074-2  
Rev. 2, Datum: 16.07.2019

[1.1.109] ENERCON  
Übersichtsschaltplan  
Dokument-Nr.: D0735453-0  
Rev. 0, Datum: 25.09.2018

[1.1.110] ENERCON  
Übersichtsschaltplan Erdung E-138 EP3  
Dokument-Nr.: D0712117  
Rev. 0, Datum: 26.09.2018

#### Transformator

[1.1.111] ENERCON  
Spezifikation Transformer 4,2MVA 630V KW L  
Dokument-Nr.: D0628628-3  
Rev. 3, Datum: 24.07.2018

[1.1.112] ENERCON  
Type certification of distribution transformers  
Dokument-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001 ger-eng  
Rev. 1, Datum: 17.02.2014

[1.1.113] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical data sheet HPNW 4200A-1775T07001  
Dokument-Nr.: 1775T07D01-180625; ENERCON Doc.-No.: D0741864-0  
Rev. -, Datum: 25.06.2018

[1.1.114] J. Schneider Elektrotechnik  
Dimension sheet HPNW 4200A-1775T10001  
Dokument-Nr.: 1775T07-0001-A; ENERCON Dokument-Nr.: D0750181-0  
Rev. A, Datum: 13.06.2018

[1.1.115] J. Schneider Elektrotechnik  
Test certificate HPNW 4200A-1775T07001  
Seriennr.: 195800; ENERCON Dokument-Nr.: D0750179-0  
Rev. A, Datum: 07.09.2018

- [1.1.116] J. Schneider Elektrotechnik  
Gebrauchsanleitung 3Ph Transformatoren mit Isolierflüssigkeit in Hermetikausführung (HPNW)  
Dokument-Nr.: 1775T07B01; ENERCON Dokument-Nr.: D070051-0  
Rev. -, Datum: 16.07.2018
- [1.1.117] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical data sheet HPNW 4200A  
Dokument-Nr.: 0000T02D01; ENERCON Dokument-Nr.: D0771373-0  
Rev. -, Datum: 19.11.2018

#### Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.118] 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
- [1.1.119] 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
- [1.1.120] 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
- [1.1.121] Driescher  
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L  
ENERCON Dokument-Nr.: D0751294-0  
Rev. -, Datum: 19.09.2018
- [1.1.122] Driescher  
Technische Beschreibung ABS® zero  
ENERCON Dokument-Nr.: D0708521-0  
Rev. -, Datum: 18.09.2018 (empfangen)
- [1.1.123] 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

[1.1.124] Ormazabal  
Technische Beschreibung cgm.3  
Dokument-Nr.: CA-112-DE-1611; ENERCON Dokument-Nr.: D0783740-0  
Rev. -, Datum: 23.05.2019 (empfangen)

[1.1.125] Ormazabal  
Schaltplan cgm.3  
Dokument-Nr.: E08977; ENERCON Dokument-Nr.: D0821342-0  
Rev. 04, Datum: 29.04.2019

### EMV

[1.1.126] ENERCON  
Prüfanforderungen EMV Erforderliche Prüfungen  
Dokument-Nr.: D0652486-4  
Rev. 4, Datum: 05.08.2019

[1.1.127] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Rotorunterverteilung  
Dokument-Nr.: D0894800-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

[1.1.128] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Lastregelschrank  
Dokument-Nr.: D0870494-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

[1.1.129] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Gondelsteuerschrank  
Dokument-Nr.: D0869469-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

[1.1.130] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Steuerschrank  
Dokument-Nr.: D0869004-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

[1.1.131] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Montageplatte  
Dokument-Nr.: D0866196-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

[1.1.132] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
Optoverteiler VAR  
Dokument-Nr.: D0866195-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.133] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
IE Client VAR  
Dokument-Nr.: D0866192-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.134] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
Versorgung intern VAR  
Dokument-Nr.: D0866191-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.135] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
Einspeisung 230V/400V VAR  
Dokument-Nr.: D0866190-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.136] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Leistungsschrank  
Dokument-Nr.: D0855915-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.137] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattregelschrank  
Dokument-Nr.: D0853523-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.138] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Schleifringübertrager  
Dokument-Nr.: D0853027-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.139] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Eisansatzerkennung  
Dokument-Nr.: D0851886-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.140] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Netzfilterschrank  
Dokument-Nr.: D0849903-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.141] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattrelaisschrank  
Dokument-Nr.: D0848587-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

## **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.: D0666243-3  
Rev. 3, Datum: 30.07.2018
- [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 -betriebsmittel, Teile 1: Allgemein
- [2.11] EN 61000-6-4:2006 + A1:2010  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Störaussendung für Industriebereiche
- [2.12] EN 61000-6-2:2005  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Störfestigkeit für Industriebereiche
- [2.13] Verordnung (EU) Nr. 548/2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittelleistungs- 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	Max. 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

- 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

<sup>1</sup> STW: Standard Weather Edition, CCV: Cold Climate Version

<sup>2</sup> Leistungsbegrenzung unterhalb von -30 °C.

Schutzart:	IP23
Kühlart:	IC3A6
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 20 °C <sup>3</sup>

- **Umrichter**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	Leistungsschrank B2B PC17034
Artikelnummer:	663699, 663700, 720763
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)
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

---

<sup>3</sup> Steigt die Umgebungstemperatur über 20 °C, wird der Generator temperaturgeregelt weiterbetrieben. Dieses kann zu einer Leistungsreduktion führen.

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
Nenn Drehzahl:	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
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

---

<sup>4</sup> Der Motor von EMOD wird nur in der Temperaturversion STW installiert.

- **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

- **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].

---

<sup>5</sup> Übriges Gehäuse IP2XD

## 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. Flugbefeuerung 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 wurde im Prototyp der WEA ENERCON E-138 EP3 (SN 1380001) durchgeführt. Der Testbericht [1.1.9] umfasst die Messergebnisse der thermischen Prüfung in der WEA sowie der elektrischen Prüfung beim Hersteller.

### **Umrichter**

Die E-138 EP3 ist mit einem 4-Q-Umrichter, Bezeichnung B2B PC17034 [1.1.10] - [1.1.19], ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON konstruiert und gefertigt. Die E-138 EP3 wird insgesamt mit 12 Leistungsumrichterschranken 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 [1.1.10]. Der Umrichter wird flüssigkeitsgekühlt.

ENERCON hat mehrere Prüfungen für den Umrichter nach IEC 62477-1 durchgeführt und die Prüfergebnisse sind in den Prüfprotokollen [1.1.16] - [1.1.26] aufgeführt. Der Prüfbericht zur Messung der Einhaltung der EMV Anforderungen wurde noch nicht eingereicht, aber für den Leistungsschrank wurde eine Risikobeurteilung in Bezug auf EMV Risiken durchgeführt [1.1.136]. Die fehlende EMV Vermessung ist deshalb nicht sicherheitskritisch.

Der Umrichter ist konform zur Europäischen Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU. Im Datenblatt [1.1.11] wird die IEC 62477-1 als angewandte Norm aufgeführt. Das CE Zeichen ist auf dem Typenschild [1.1.15] 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 [1.1.58] - [1.1.65].

### **Schleifring**

Die WEA E-138 EP3 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem ausgerüstet [1.1.47] - [1.1.50]. Der im Kapitel 4 aufgeführte Schleifring wird von ENERCON entsprechend den Umgebungsbedingungen im Hub ausgelegt. Im Schaltplan [1.1.78] sind die Verbindungen der Schleifringe korrekt dargestellt.

### **Azimutantrieb**

Die WEA E-138 EP3 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.51], [1.1.52]. 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 [1.1.53] - [1.1.57].

### **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 [1.1.111] und [1.1.112] beschrieben. Des Weiteren sind in [1.1.112] 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 [1.1.113], [1.1.117].

### **Mittelspannungsschaltanlage**

Die Mittelspannungsschaltanlage ist ebenfalls in dem E-Modul im Turmfuß installiert [1.1.118], [1.1.119]. 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 [1.1.118] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie auch die relevanten Teile der IEC 62271 [2.9] erfüllen [1.1.120] - [1.1.125].

### **Schaltpläne**

Die Schaltpläne [1.1.72] - [1.1.110] 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 [1.1.58] 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 [1.1.68] 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 [1.1.27]. 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 [1.1.72] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.28] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in Zeichnung [1.1.29] 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 [1.1.30]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems wurde entsprechend den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV SÜD geprüft [1.1.31] 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 [1.1.32] - [1.1.46] 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.

Messungen zu Netzverträglichkeit entsprechend der IEC 61400-21 und den relevanten EMV-Standards werden am Prototyp der E-138 EP3 durchgeführt. Ein Protokoll von der EMV-Messung wurde noch nicht vorgelegt. Eine Prüfspezifikation mit den geplanten Messungen liegt vor [1.1.126]. Die geplanten Messungen wurden als ausreichend bewertet. ENERCON hat für die in der E-138 EP3 installierten Komponenten eine Risikobeurteilung in Bezug auf EMV Risiken durchgeführt [1.1.127] - [1.1.141]. Das Messprotokoll der EMV-Messung sollte der Zertifizierungsstelle vorgelegt werden.

### 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 [1.1.109] korrekt beschrieben. Zusätzliche Sensoren sind in den Schaltplänen dargestellt.

#### **6 Auflagen**

keine

#### **7 Schlussfolgerung**

Das elektrische System der ENERCON E-138 EP3 entspricht den Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit werden auch die Anforderungen der DIBt 2012 erfüllt.

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



M. Sc. Holger Grafe

Freigabe



Dr. Ralf Kotte

## Gutachtliche Stellungnahme

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

- Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 -

<b>TÜV NORD Bericht-Nr.:</b>	8115 022 604 - 3 D, Rev. 3
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Strukturnachweis und statischer Blatttest für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01. Mit Lasten nach 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 18 Seiten.

## Revisionsindex

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
2	13.12.2019	Lasten zu Konfig. 6 aktualisiert, Redaktionelle Korrektur Kap. 1.1, 4.2 und 6, Dokumente aktualisiert: [1.2.1] - [1.2.5]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.10]	Dipl.-Ing. M. Passow
3	18.03.2020	Neue Konfig.: E-138 EP3-ST-81-FB-C-02; Dokumente aktualisiert: [1.2.5]; Kapitel aktualisiert: 3, 4.2, 4.3 und 5.3	Dipl.-Ing. M. Passow

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	4
	1.1 Geprüfte Dokumente .....	4
	1.2 Dazugehörige Dokumente.....	10
2	Prüfgrundlagen .....	12
3	Einleitung .....	12
4	Beschreibung der Komponente .....	13
	4.1 Klimatische Bedingungen.....	13
	4.2 Beschreibung der Komponentenparameter.....	13
	4.3 Designlasten .....	13
	4.4 Materialien.....	15
5	Durchgeführte Prüfung.....	15
	5.1 Prüfmethode.....	15
	5.2 Anmerkungen .....	16
	5.3 Ergebnisse .....	16
	5.4 Schnittstellen .....	17
6	Auflagen.....	17
7	Schlussfolgerung .....	18

## **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
- [1.1.7] "Nachweis zur Zertifizierung, E-138 EP3-RB-01 mit Turm E-138 EP3-HT-160-FB-C-01 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit Lastvergleich LS26++ und LS26+++"  
Dokument-Nr.: D0897949-1b, Rev. 1b, Datum: 13.12.2019

### Zeichnungen

- [1.1.8] "Rotor blade general dimension"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.110.10000-2, Rev. 2, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.9] "Pressure face rotor blade shell, outer laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10000-6, Rev. 6, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.10] "Suction face rotor blade shell, outer laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10001-6, Rev. 6, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.11] "Suction face rotor blade shell, preform segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10002-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite

- [1.1.12] "Suction face rotor blade shell, inner laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10003-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.13] "Pressure face rotor blade shell, inner laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10004-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.14] "Pressure face rotor blade shell, core material"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10005-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.15] "Suction face rotor blade shell, core material"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10006-2, Rev. 2, Datum: 07.09.2018, 1 Seite
- [1.1.16] "Pressure face rotor blade shell, spar boom"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10007-1, Rev. 1, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.17] "Suction face rotor blade shell, spar boom"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10008-2, Rev. 2, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.18] "Pressure face rotor blade shell, outer laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10009-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.19] "Suction face rotor blade shell, outer laminate reinforcement layers"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10010-1, Rev. 1, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.20] "Pressure face rotor blade shell, inner laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10011-4, Rev. 4, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.21] "Suction face rotor blade shell, inner laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10012-3, Rev. 3, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.22] "Pressure face rotor blade shell, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10014-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.23] "Suction face rotor blade shell, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10015-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.24] "Suction face rotor blade shell, spar boom var. B"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10016-1, Rev. 1, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.25] "Pressure face rotor blade shell, spar boom var. B"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10017-1, Rev. 1, Datum: 12.12.2018, 1 Seite
- [1.1.26] "Pressure face rotor blade shell, preform Segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.130.10018-0, Rev. 0, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.27] "Rotor blade bonding, leading edge cap"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10000-2, Rev. 2, Datum: 18.09.2018, 1 Seite

- [1.1.28] "Rotor blade bonding, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10001-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.29] "Rotor blade bonding, reinforcement laminate outside"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10002-2, Rev. 2, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.30] "Rotor blade bonding, glue cap leading edge"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10003-3, Rev. 3, Datum: 12.12.2018, 1 Seite
- [1.1.31] "Rotor blade bonding, glue cap trailing edge"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10004-4, Rev. 4, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.32] "Rotor blade bonding, glue cap trailing edge 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10006-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.33] "Rotor blade bonding, connection GCTE 1+2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10007-0, Rev. 0, Datum: 07.08.2018, 1 Seite
- [1.1.34] "Rotor blade bonding, connection GC LE 1+2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.140.10008-1, Rev. 1, Datum: 24.08.2018, 1 Seite
- [1.1.35] "Rotor blade web, hat web segment 4"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10000-2, Rev. 2, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.36] "Rotor blade web, web segment 5"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10001-0, Rev. 0, Datum: 20.03.2018, 1 Seite
- [1.1.37] "Rotor blade web, assembly web"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10003-1 Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.38] "Rotor blade web, leading edge web segment 1"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10004-1, Rev. 1, Datum: 09.11.2018, 1 Seite
- [1.1.39] "Rotor blade web, leading edge web segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10005-0, Rev. 0, Datum: 17.05.2018, 1 Seite
- [1.1.40] "Rotor blade web, leading edge web segment 3"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10006-2, Rev. 2, Datum: 16.01.2019, 1 Seite
- [1.1.41] "Rotor blade web, trailing edge web segment 1"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10007-1, Rev. 1, Datum: 05.09.2018, 1 Seite
- [1.1.42] "Rotor blade web, trailing edge web segment 2"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10008-1, Rev. 1, Datum: 05.09.2018, 1 Seite
- [1.1.43] "Rotor blade web, trailing edge web segment 3"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10009-3, Rev. 3, Datum: 16.01.2019, 1 Seite

- [1.1.44] "Rotor blade web, reinforcement laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10010-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.45] "Rotor blade web, web TE reinforcement insert bypass"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10011-1, Rev. 1, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.46] "Rotor blade web, web LE reinforcement insert bypass"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10012-0, Rev. 0, Datum: 18.05.2018, 1 Seite
- [1.1.47] "Rotor blade web, flatback web"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.150.10013-0, Rev. 0, Datum: 08.02.2019, 1 Seite
- [1.1.48] "Rotor blade lifting eye, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.220.10005-0, Rev. 0, Datum: 04.05.2018, 1 Seite
- [1.1.49] "Blade tip, additional fixing"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10000-0, Rev. 0, Datum: 08.01.2018, 1 Seite
- [1.1.50] "Blade tip, cover"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10001-0, Rev. 0, Datum: 08.01.2018, 1 Seite
- [1.1.51] "Vortex generator, assembly suction face"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10002-0, Rev. 0, Datum: 04.01.2018, 1 Seite
- [1.1.52] "Trailing edge serration, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10003-0, Rev. 0, Datum: 05.04.2018, 1 Seite
- [1.1.53] "Trailing edge serration, reinforcement laminate"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10014-1, Rev. 1, Datum: 05.06.2018, 1 Seite
- [1.1.54] "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
- [1.1.55] "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
- [1.1.56] "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
- [1.1.57] "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
- [1.1.58] "Vortex generator, variant A R02.01"  
Zeichnungs-Nr.: R92.230.027-1, Rev. 1, Datum: 08.07.2016, 1 Seite
- [1.1.59] "PF and SF rotor blade shell, preform segment 1"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.130.10002-3, Rev. 3, Datum: 06.12.2018, 1 Seite

- [1.1.60] "PF and SF rotor blade shell, preform segment 3"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.130.10003-3, Rev. 3, Datum: 06.12.2018, 1 Seite
- [1.1.61] "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
- [1.1.62] "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
- [1.1.63] "Belegungsplan, Serrations E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0635175-0, Rev. 0, Datum: 15.03.2018
- [1.1.64] "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
- [1.1.65] "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
- [1.1.66] "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

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

#### Spezifikationen

- [1.1.68] "Spezifikation, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0684414-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2019
- [1.1.69] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante  
Mindestwerte für das Rotorblatt E138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0650829-3, Rev. 3, Datum: 22.02.2019
- [1.1.70] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante  
Mindestwerte für Rotorblätter allgemein"  
Dokument-Nr.: D0223764-2, Rev. 2, Datum: 11.01.2019

[1.1.71] "Spezifikation, über aerodynamisch bedingte Fertigungstoleranzen für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0702174-0, Rev. 0, Datum: 30.07.2018

[1.1.72] "Spezifikation, Allgemeine aerodynamisch und aero-akustisch bedingte Fertigungstoleranzen für Rotorblätter"  
Dokument-Nr.: D0701822-0a, Rev. 0a, Datum: 22.02.2019

### Handbücher

[1.1.73] "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

[1.1.74] "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

[1.1.75] "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

[1.1.76] "Blattanschluss Blattflansch bearbeitet, blade connection blade flange machined"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.180.10000-1, Rev. 1, Datum: 17.01.2018

[1.1.77] "Blattanschluss Zusammenbau, blade connection assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.180.10002-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2018

[1.1.78] "Dehnhülse Ø42,4 / Ø25x160, expansion sleeve Ø42,4 / Ø25x160"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10011-1, Rev. 1, Datum: 26.01.2018

[1.1.79] "Dehnhülse Ø42,4 / Ø25x180, expansion sleeve Ø42,4 / Ø25x180"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10013-1, Rev. 1, Datum: 26.01.2018

[1.1.80] "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

[1.1.81] "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

[1.1.82] "Blattanschluss Querbolzen Ø63x190 M24, blade connection cross bolt  
Ø63x190 M24"  
Zeichnungs-Nr.: R1261.180.10001-3, Rev. 3, Datum: 25.10.2018

[1.1.83] "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.: D0722969-3a, Rev. 3a, Datum: 19.08.2019

[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.: D0722967-3a, Rev. 3a, Datum: 19.08.2019

[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.: D0722968-3a, Rev. 3a, Datum: 19.08.2019

[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.: D0722965-3a, Rev. 3a, Datum: 19.08.2019

[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. 5, Datum: 30.01.2020

### 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. 4, Datum: 15.10.2019
- [1.2.9] "Auswertung Statischer Rotorblatttest E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0783831-0a, Rev. 0a, Datum: 11.02.2019
- [1.2.10] "Auswertung Statischer Zwischentest und dynamischer My-Test E-138 EP3-RB-01 IWES "  
Document-No: D0855408-0a, Rev. 0a, dated 2019-08-22
- [1.2.11] 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

- [1.2.12] "Reinforcing ring, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1265.200.10003-4, Rev. 4, Datum: 14.02.2019, 1 Seite
- [1.2.13] "Rotor blade lifting eye, reinforcement laminate te"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.220.10004-0, Rev. 0, Datum: 19.03.2018, 1 Seite
- [1.2.14] "Blade heating system, heating modul 50Hz"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.210.10002-1, Rev. 1, Datum: 25.04.2019, 1 Seite
- [1.2.15] "Blade heating system, overview installation"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.210.10003-1, Rev. 1, Datum: 25.04.2019, 1 Seite
- [1.2.16] "Blade skirt, assembly"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10021-0, Rev. 0, Datum: 08.03.2018, 1 Seite
- [1.2.17] "Balancing chamber, installation"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10023-0, Rev. 0, Datum: 08.03.2018, 1 Seite
- [1.2.18] "Liste zertifizierter Bauunterlagen,für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"  
Dokument-Nr.: D0685276-0, Rev. 0, Datum: 22.02.2019

### Handbücher

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

[1.2.20] 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).

In Revision 3 dieses Berichtes wird die Konfiguration 7 durch eine Frequenzuntersuchung der überarbeiteten Turmvariante hinzugefügt.

## 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 [1.1.69] 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)	19150 kg ±3%
(inkl. Bolzen, mit Heizung)	19450 kg ±3%
Schwerpunkt (Nabenmitte, ohne Heizung):	21,63 m
(Nabenmitte, mit Heizung):	21,35 m
Statisches Moment (Nabenmitte, ohne Heizung):	414 215 kgm
(Nabenmitte, mit Heizung):	415 260 kgm
Entwurfslebensdauer:	25 Jahre

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

Nr.	WEA	Frequenz	Max. Nennleistung	Nabhöhe	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	[1.1.7]
7	E-138 EP3-ST-81-FB-C-02	50Hz	3.5 MW	80 m	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	[1.1.1] - [1.1.6]

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		
7	E-138 EP3-ST-81-FB-C-02		

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 [1.1.67] nachgewiesen. Die metallischen Komponenten der Blattfußverbindung sind in [1.1.74] 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 [1.1.83] 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 [1.1.8] - [1.1.67] 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 [1.1.67] 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 [1.1.75] enthalten ist, ist nicht Teil dieser Prüfung.

Der Nachweis der Anbindung des Heizungssystems wurde auf Plausibilität geprüft.

Das in [1.1.73] referenzierte Handbuch wurde auf Vollständigkeit und Plausibilität auf Basis der Anforderungen gemäß [2.2] geprüft. Weitere Handbücher, wie z.B. [1.2.19], wurden gemäß [1.2.20] 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**

### Revision 0

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], entsprechend [1.2.9] und [1.2.10], wurde in [1.2.11] 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. [1.1.67] stimmen mit den Werten der in [1.1.67] angegebenen Materialprüfungen überein. Somit sind die Konstruktionsmaterialeigenschaften durch Tests bestätigt.

### Revision 2

Im Lastvergleich [1.1.7] für die Konfigurationen 6 wird die aktuelle mit der vorhergehenden Revision der Auslegungslasten aus [1.2.1] - [1.2.4], die in [1.2.5] geprüft wurden, verglichen. Die ermittelten Abweichungen sind durch die strukturellen Restsicherheiten, wie in [1.1.7] angegeben, abgedeckt. Dieser Nachweis ist plausibel und korrekt. Die durchgeführten und in [1.2.11] geprüften Blatttests decken die aktualisierte Konfiguration 6 ab.

### Revision 3

Für die Konfiguration 7 wurden keine neuen Lasten eingereicht. Diese Konfiguration wird durch die Lasten der Konfiguration 1 gemäß [1.2.5] abgedeckt. Daher ist kein neuer Lastvergleich zur Bestätigung der Konfiguration 7 erforderlich und alle Bewertungen sind auch für diese Konfiguration gültig.

#### **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. 300 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 stichprobenartig 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 "Malte Polster".

Dipl.-Ing. M. Polster

## **Gutachtliche Stellungnahme**

**für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3**

**- Maschinenbauliche Komponenten -**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8116 092 817-4 D Rev. 2

**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 27 Seiten.

---

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	16.05.2019	Erstausgabe	C. Burges
1	02.12.2019	- Anlagenvariante 6 aufgenommen - Alternativer Achszapfen hinzugefügt - Redaktionelle Änderungen	C. Burges
2	24.03.2020	- Azimutlager Shilla SLBDO 3560 hinzugefügt - Azimutlager TMB Y031.69.3212K hinzugefügt - Anlagenvariante 7 aufgenommen - Generatorstator 4.3.12.1: Zeichnungen aktualisiert - Generatorstator 4.3.12.2 hinzugefügt - Generatorrotor 4.3.13.1: Zeichnungen aktualisiert	C. Burges

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	5
1.1	Geprüfte Dokumente .....	5
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	10
1.3	Lastannahmen .....	13
1.4	Zugehörige Prüfberichte .....	13
1.5	Hauptzeichnungen .....	13
2	Prüfgrundlagen .....	13
3	Einleitung .....	14
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	14
4.1	Anlagenkonzept .....	14
4.2	Umgebungsbedingungen .....	14
4.3	Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen .....	14
4.3.1	Blattadapter .....	15
4.3.2	Blattlager .....	15
4.3.3	Blattverstellgetriebe .....	16
4.3.4	Rotornabe .....	17
4.3.5	Hauptlagerung .....	17
4.3.6	Rotorträger .....	18
4.3.7	Achszapfen .....	18
4.3.8	Achsdeckel .....	19
4.3.9	Rotorarretierung .....	19
4.3.10	Rotorbremse .....	19
4.3.11	Maschinenträger .....	19
4.3.12	Generatorstator .....	20
4.3.13	Generatorrotor .....	20
4.3.14	Azimutgetriebe .....	21
4.3.15	Azimutlager .....	22
4.3.16	Hydrauliksystem .....	22
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen .....	23
5	Durchgeführte Prüfungen .....	23
5.1	Prüfmethoden .....	23
5.2	Mechanische Komponenten und Antriebe .....	24
5.3	Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen .....	24

5.4	Hinweise und Annahmen .....	25
5.5	Prüfergebnis .....	25
5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm .....	26
6	Ausstehende Nachweise .....	26
7	Bedingungen.....	26
8	Schlussfolgerungen .....	27

## **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\_D0738927-3  
Rev. 3, vom 28.10.2019
- [1.1.3] IMO GmbH & Co. KG:  
Slewing ring calculation report  
Dokument Nr.: ber\_03\_02-552800-4-12619\_Enercon\_E138 EP3 KDR\_Blatt\_ap  
Rev. 3, vom 08.11.2018
- [1.1.4] Thyssenkrupp Rothe Erde:  
Technisches Datenblatt Rothe Erde Großwälzlager  
Dokument Nr.: 18130\_03  
Rev. 3, vom 28.10.2019

#### Blattverstellgetriebe

- [1.1.5] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Calculation Pitch gearbox  
Dokument Nr.: 2019-008-3  
Rev. 3, vom 30.07.2019
- [1.1.6] Bonfiglioli Transmittal:  
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.: D0738902-4  
Rev. 4, vom 23.09.2019

### 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. 03, vom 10.10.2019
- [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. R04, vom 11.10.2019
- [1.1.11] Schaeffler Technologies AG & Co. KG:  
Technische Dokumentation - Hauptlagerung - Windenergieanlage E138 EP3  
Dokument Nr.: TD\_Enercon\_E138 EP3 KDR\_2019-02-28\_AC  
Rev. AC, vom 08.11.2019

### 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.: D0705527-4  
Rev. 4, vom 15.07.2019

### Rotorbremse

[1.1.16] ENERCON GmbH:

Nachweis Rotorbremse E-126 EP3 und E-138 EP3 E1  
Dokument Nr.: D0669913-4  
Rev. 4, vom 15.07.2019

### 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.: 2019-014-5  
Rev. 5, vom 14.10.2019

[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\_rev2  
Rev. 2, vom 04.10.2019

#### Azimutlager

- [1.1.23] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Prüfunterlagen Azimutlager Windenergieanlage Enercon E-138 EP3 -KDR LB  
D0722965  
Dokument Nr.: p03203-070WA18-  
001\_20191028\_ENERCON\_YaB\_EP138EP3\_D0735815-3  
Rev. 3, vom 28.10.2019

- [1.1.24] Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH:  
Technisches Datenblatt - Rothe Erde Großwälzlager  
Dokument Nr.: 18166\_03  
Rev. 03, vom 28.10.2019

- [1.1.25] Shilla Corporation:  
Technical Calculation Sheet  
Dokument Nr.: SLE\_Y\_4\_3560\_EP3.03.442-1\_05  
Rev. 05, vom 01.11.2019

- [1.1.26] Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.:  
TMB Slewing Bearing Calculation Report  
Dokument Nr.: CR2019-11-08/0  
Rev. 01, vom 08.11.2019

#### Azimutarretierung

- [1.1.27] ENERCON GmbH:  
Nachweis - Azimutmotor und -bremse E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0735277-3  
Rev. 3, vom 28.11.2019

#### Anschlagpunkte

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

- [1.1.29] 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

### [1.1.30] ENERCON GmbH:

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

### [1.1.31] ENERCON GmbH:

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

### [1.1.32] ENERCON GmbH:

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

### [1.1.33] ENERCON GmbH:

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

### [1.1.34] ENERCON GmbH:

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

### [1.1.35] 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

### [1.1.36] 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

### [1.1.37] ENERCON GmbH:

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

### [1.1.38] ENERCON GmbH:

Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3, Load  
comparison for Statics and Fatigue, Load loop 26+++  
Dokument Nr.: D0858443-0  
Rev. 0, vom 14.08.2019

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Blattlager

#### [1.2.1] ENERCON GmbH:

Lastaufbereitung Blattverstellungssystem E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0738900-3  
Rev. 3, vom 13.09.2019

#### [1.2.2] ENERCON GmbH:

Spezifikation Blattflanschlager E-138 EP3 KDR  
Dokument Nr.: D0738927-3  
Rev. 3, vom 23.09.2019

#### [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.: D0741701-2  
Rev. 2, vom 22.02.2019

[1.2.6] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Blattverstellmotor EP3/3  
Dokument Nr.: D0645627-3  
Rev. 3, vom 09.08.2019

[1.2.7] ENERCON GmbH:  
Blattverstelltriebtausch 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.: D0741617-3  
Rev. 3, vom 23.09.2019

[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

#### Generatorstator

[1.2.11] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Stator, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0853267-1  
Rev. 1, vom 08.10.2019

#### Azimutgetriebe

[1.2.12] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Azimutgetriebe E-138 EP3 - KDR  
Dokument Nr.: D0735835-3  
Rev. 3, vom 24.09.2019

[1.2.13] ENERCON GmbH:  
Lastaufbereitung - Azimutverstellsystem E-138 EP3 – KDR  
Dokument Nr.: D0735276-4  
Rev. 4, vom 23.09.2019

### Azimutlager

- [1.2.14] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Azimutlager E138 EP3 -KDR  
Dokument Nr.: D0735815-3  
Rev. 3, vom 24.09.2019

### Hydrauliksystem

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

### Konstruktionsbasis

- [1.2.17] ENERCON GmbH:  
Design Basis E-126, E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0556048-5  
Rev. 5, vom 26.03.2018
- [1.2.18] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen"  
Dokument Nr.: D0666243-3  
Rev. 3, vom 30.07.2018

### Spezifikation Sphärogussteile

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

### Konzept Wöhlerlinien für Gusseisen

- [1.2.20] 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. 5, vom 30.01.2020

### **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
- [1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Konformitätsschreiben "Rotor Supports for Wind Turbines E-126 EP3 and E-  
138 EP3"  
vom 14.11.2019
- [1.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen  
ENERCON E-138 EP3 E2 - Maschinenbauliche Komponenten -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-4 D  
Rev. 1, vom 12.12.2019

### **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 [1.2.17] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer für alle Komponenten:	25 Jahre
Blattarretierung:	Motorbremsen der Pitchantriebe
Blattverstellungssystem:	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. 1-7 (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. 02.4, vom 15.07.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (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. 05.2, vom 30.07.2019
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. 1-7 (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. 01.2, vom 30.07.2019
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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.3.3 Alternative Komponente

Hersteller:	Bonfiglioli Trasmatal
Typ:	Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	2T100142900
Übersetzung:	173,4
Hauptzeichnung Nr.:	I7070T002401, Rev. C, vom 01.07.2019
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. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

#### **4.3.5 Hauptlagerung**

##### *4.3.5.1 Komponentenspezifikation*

Hersteller: PSL, a.s. (ThyssenKrupp)  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: PSL612-415  
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-415-PV\_4, Rev. 4, vom 16.02.2018  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: PSL612-416  
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-416-PV\_5, Rev. 5, vom 16.02.2018  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.5.3 *Alternative Komponente*

Hersteller:	FAG Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Typ:	Kegelrollenlager in O-Anordnung
<u>Nabenseitig</u>	
Handelsbezeichnung:	F-627880.TR1-WPOS-H113
Hauptzeichnung Nr.:	EDD F-627880.TR1-WPOS 000, Rev. AB, vom 12.03.2018
<u>Generatorseitig</u>	
Handelsbezeichnung:	F-627881.TR1-WPOS-H113
Hauptzeichnung Nr.:	EDD F-627881.TR1-WPOS 000, Rev. AB, vom 12.03.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-7 (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.:	EP3.01.081-4, Rev. 4, vom 04.07.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

##### 4.3.7.2 *Alternative Komponente*

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Gussteil
Handelsbezeichnung:	Achszapfen EP3-AP-03
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.01.097-0, Rev. 0, vom 22.01.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (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:	EP3.02.458-8, Rev. 8, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 4 Uhr:	EP3.02.465-9, Rev. 9, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 6 Uhr:	EP3.02.459-8, Rev. 8, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 8 Uhr:	EP3.02.466-9, Rev. 9, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 10 Uhr:	EP3.02.457-9, Rev. 9, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 12 Uhr:	EP3.02.460-8, Rev. 8, vom 26.04.2019
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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.12.2 Alternative Komponente

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Guss- und Schweißbauteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT / S355 J2+N
Zeichnung Nr. Statortragstern:	EP3.02.829-1, Rev. 1, vom 25.01.2019
Zeichnung Nr. Statortragstern:	EP3.02.830-1, Rev. 1, vom 25.01.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 2 Uhr:	EP3.02.761-3, Rev. 3, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 4 Uhr:	EP3.02.763-4, Rev. 4, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 6 Uhr:	EP3.02.756-3, Rev. 3, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 8 Uhr:	EP3.02.764-4, Rev. 4, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 10 Uhr:	EP3.02.762-4, Rev. 4, vom 26.04.2019
Zeichnung Nr. Tragarm 12 Uhr:	EP3.02.760-3, Rev. 3, vom 26.04.2019
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. 1-6 (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.:	EP3.02.480-4, Rev. 4, vom 06.03.2019
Rotor Seitenteil Zeichnung Nr.:	EP3.02.482-4, Rev. 4, vom 06.03.2019
Rotor Seitenteil Zeichnung Nr.:	EP3.02.484-4, Rev. 4, vom 06.03.2019
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindung zum Rotorträger
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-7 (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. 03.7, vom 23.10.2019
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. 1-7 (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. 00.9, vom 25.10.2018
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. 1-7 (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.:	I7110T003401, Rev. C, vom 25.10.2019
Schnittzeichnung Nr.:	A7110T010501, Rev. A, vom 04.10.2019
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	YP00009403, Rev. -, vom 02.07.2018
Anzahl der Antriebe:	12
Motoren:	Ruckh TRB 112M-4 PT 100 Brake E115 EMOD B 112M/4 WU
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-7 (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. 02.3, vom 15.07.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

#### *4.3.15.3 Alternative Komponente*

Hersteller: Shilla Corporation  
Typ: Zweireihige Kugeldrehverbindung  
Handelsbezeichnung: SLBDO 3560  
Material: 42CrMo4+QT  
Hauptzeichnung Nr.: SLBDO 3560, Rev. 02, vom 25.11.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

#### *4.3.15.4 Alternative Komponente*

Hersteller: Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd  
Typ: Zweireihige Kugeldrehverbindung  
Handelsbezeichnung: Y031.69.3212K  
Material: 42CrMo4+QT  
Hauptzeichnung Nr.: Y031.69.3212, Rev. 01, vom 11.02.2020  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (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 dem Dokument 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 S	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
6	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01)	WZ 2	GK II
7	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	80.42 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-02)	WZ S	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.

Soweit redaktionelle und technische Abweichungen oder Fehler keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurde eine Korrektur der geprüften Unterlage aus Kapitel [1] nicht angefordert.

Ausschließlich das relevante Kapitel 4.11 der Berechnung [1.1.28] 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.

Der Generatorstator 4.3.12.2 der E-126 EP3 ist eine Modifikation des Generatorstators der E-138 EP3 EP2, der mit der FEM Analyse [1.2.11] nachgewiesen ist und in [1.4.3] für die E-138 EP3 EP2 freigegeben ist. Da die Statorringe zwischen der E-126 EP3 und der E-138 EP3 E2 unterschiedlich sind, sind die Tragarme des Generatorstators 4.3.12.2 am Ende zum Statorring geändert. Die geänderte Tragarmgeometrie ist aber ähnlich der Tragarmgeometrie des Generatorstators 4.3.12.1. Die Prüfung des Generatorstators 4.3.12.2 basiert auf einen Zeichnungsvergleich.

Die maschinenbaulichen Komponenten konnten über den Lastbericht [1.3.1] für die Anlagenvariante 7 der Tabelle 4.2 freigegeben werden.

#### **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.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

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 "W. Aldenhoff".

Dr.-Ing. W. Aldenhoff

### An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

Eng. Mecânico F. Rodriguez  
Dr.-Ing. Y. Ou

## Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3

- Verkleidungen & Strukturen -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8116 092 817-12 D Rev. 3

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

**Standortspezifikation:** Windzone: WZ 2  
Geländekategorie: GK 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 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	21.05.2019	Erstausgabe	M. Schiermann
1	29.11.2019	- WEA Variante Nr. 6 hinzugefügt - Dachmodul aktualisiert - Materialspezifikationen aktualisiert - Bedingungen für GFK Lagendicken unter Punkt 6 entfernt - redaktionelle Änderungen	Dr.-Ing. Y. Ou
2	10.12.2019	- Spinnerverkleidung Variante 1 hinzugefügt	Dr.-Ing. Y. Ou
3	20.03.2020	- WEA Variante Nr. 7 hinzugefügt	F. Rodriguez

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	5
1.3	Lastannahmen .....	5
1.4	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.....	9
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	9
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethoden.....	10
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen .....	10
5.3	Hinweise und Annahmen .....	11
5.4	Prüfergebnis .....	11
6	Bedingungen.....	11
7	Schlussfolgerungen .....	12

## **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,  
Quadrx Versuchsergebnisse aus Mai 2018  
Dokument Nr.: D0716825-0  
Rev. 0, vom 21.06.2018

[1.1.7] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3 und E-138 EP3, Spinnerverkleidung, Statik  
Dokument Nr.: D0847485-0  
Rev. 0, vom 11.07.2019

[1.1.8] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3 und E-138 EP3, Spinnerverkleidung, Anhang A: Schraubendaten  
Dokument Nr.: D0847488-0  
Rev. 0, vom 08.07.2019

#### Gondelbühne

[1.1.9] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 -  
Gondelbühne Statik  
Dokument Nr.: D0728433-1a  
Rev. 1a, vom 17.05.2019

#### Anschlagpunkte

[1.1.10] ENERCON GmbH  
Nachweis zur Zertifizierung, Enercon Windenergieanlage E-138 EP3  
Anschlagpunkte Gondelbühne Statik  
Dokument Nr.: D0741987-0  
Rev. 0, vom 23.08.2018

[1.1.11] ENERCON GmbH  
Nachweis zur Zertifizierung, Enercon Windenergieanlage E-126 EP3,  
Anschlagpunkte Dachmodul  
Dokument Nr.: D0693228-1  
Rev. 1, vom 21.08.2018

#### Dachmodul

[1.1.12] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON EP3 Plattform (E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3 & E-138 EP3 E2), Dachmodul, Statik  
Dokument Nr.: D0850499-0  
Rev. 0, vom 22.08.2019

## **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:  
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen  
Document-ID: D0666243-3  
Rev. 3, vom 30.07.2018

### Materialspezifikation

[1.2.3] ENERCON GmbH:  
Spezifikation für glasfaserverstärkte Verkleidungen von ENERCON WEA  
Dokument Nr.: D0687898-2  
Rev. 2, vom 03.07.2019

[1.2.4] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Materialdaten für GFK Verkleidungskomponenten  
Dokument Nr.: D0689349-3  
Rev. 3, vom 15.08.2019

## **1.3 Lastannahmen**

[1.3.1] 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 -  
Bericht Nr.: 8115 920 151-1 D IV  
Rev. 5, vom 30.01.2020

## **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

[1.4.2] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:  
Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines, IEC 61400-22  
- Design Basis for Cold Climate conditions -  
Bericht Nr.: 8115 599 054-0 E  
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 den Dokumenten [1.2.1] und [1.2.2] zu entnehmen. Prüfergebnisse und Anmerkungen zur Spezifikation sind in den Berichten [1.4.1] und [1.4.2] 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 °C < t < +40 °C	-40 °C < t < +50 °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 [1.2.4]  
 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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.2 Generatorverkleidung

#### 4.3.2.1

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	GFK-Struktur
Material:	siehe Spezifikation [1.2.4]
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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.3 Spinnerverkleidung

#### 4.3.3.1

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	GFK-Struktur
Material:	siehe Spezifikation [1.2.4]
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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

Variante 1: vordere Schraubverbindung geändert (siehe [1.1.7])

Extremwindgeschw. $v_{e50}$ :	62,68 m/s
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindung zur Rotornabe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-7 (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 [1.1.9]
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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.5 Dachmodul

#### 4.3.5.1

Design: ENERCON GmbH  
 Typ: Stahlstruktur  
 Material: S355J2  
 Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.862-2, Rev. 2, vom 14.08.2019  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (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	Gelände-kategorie
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 S	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
6	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	160.0 m (E-138 EP3-HT-160-ES-C-01)	WZ 2	GK II
7	E-138 EP3 KDR	≤ 3.5 MW	E-138 EP3-RB-01	80.42 m (E-138 EP3-ST-81-FB-C-02)	WZ S	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 Verkleidungen und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Die Prüfung erfolgte im Wesentlichen durch Vergleichsrechnung. Soweit die Abweichungen keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurden sie in der geprüften Unterlage nicht korrigiert. Schreib-, Übertragungs- und unbedeutende Fehler ohne Einfluss auf die Auslegung wurden in der geprüften Unterlage nicht korrigiert.

### **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 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 Verkleidungen 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 "Francisco A. Rodriguez".

Eng. Mecânico F. Rodriguez

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ch. Neuhaus".

Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

# Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
**ENERCON E-138 EP3 E2**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117 142 915 D Rev. 1

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: ENERCON E-138 EP3 E2  
Rotorblatt: E-138 EP3-RB-02  
Max. Nennleistung: 4,2 MW  
Nabenhöhen: 111 m, 131 m, 149 m,  
160 m

**Standortspezifikation:** Windzonen: WZ 2  
Geländekategorie: GK II

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

Diese Zusammenstellung umfasst 5 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	28.11.2019	Erstausgabe	F. Rodriguez
1	16.04.2020	Aktualisierung von Dokumenten	F. Rodriguez

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Lastannahmen .....	3
1.2	Sicherheitssystem und Handbücher.....	4
1.3	Elektrische Komponenten und Blitzschutz .....	4
1.4	Rotorblatt.....	4
1.5	Maschinenbauliche Komponenten .....	4
1.6	Verkleidungen und Strukturen.....	4
2	Prüfgrundlagen .....	5
3	Hinweise und Bedingungen .....	5

## **1 Dokumente**

### **1.1 Lastannahmen**

- [1.1.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D I  
Rev. 0, vom 01.11.2019
- [1.1.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D II  
Rev. 1, vom 11.12.2019
- [1.1.3] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament --  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D III  
Rev. 0, vom 01.11.2019
- [1.1.4] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D IV  
Rev. 0, vom 01.11.2019
- [1.1.5] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D V  
Rev. 2, vom 14.01.2020
- [1.1.6] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D VI  
Rev. 1, vom 11.12.2019

## **1.2 Sicherheitssystem und Handbücher**

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E2  
nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)  
- Sicherheitssystem und Handbücher -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-2 D  
Rev. 1, vom 02.04.2020

## **1.3 Elektrische Komponenten und Blitzschutz**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme ENERCON E-138 EP3 E2 - Elektrische  
Komponenten und Blitzschutz -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-5 D  
Rev. 1, vom 07.04.2020

## **1.4 Rotorblatt**

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
E-138 EP3 E2, unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen  
- Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-3 D  
Rev. 1, vom 16.12.2019

## **1.5 Maschinenbauliche Komponenten**

- [1.5.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen  
ENERCON E-138 EP3 E2 - Maschinenbauliche Komponenten -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-4 D  
Rev. 1, vom 12.12.2019

## **1.6 Verkleidungen und Strukturen**

- [1.6.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2 - Verkleidungen & Strukturen -  
Bericht Nr.: 8116 503 696-12 D  
Rev. 1, vom 20.03.2020

## 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 Hinweise und Bedingungen

Die Gutachtlichen Stellungnahmen unter Kapitel 1 wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen der Prüfgrundlagen unter Kapitel 2 erstellt.

Es sind die Auflagen und Hinweise der unter Kapitel 1 aufgeführten Gutachtlichen Stellungnahmen zu beachten.

Die gemäß Kapitel 3, Abschnitt I der DIBt-Richtlinie [2.1] erforderlichen bautechnischen Unterlagen liegen vor. Alle weiteren unter Kapitel 3 der Richtlinie [2.1] genannten erforderlichen bautechnischen Unterlagen sind nicht Bestandteil dieser Zusammenstellung.

Der Sachverständige:



Eng. Mecânico F. Rodriguez

Freigegeben:



Dr.-Ing. W. Aldenhoff

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
RB E-138 EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01),  
DIBt WZ S, GK II

### - Lastannahmen für Turm und Fundament -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117142915-1 D I Rev. 0

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Nabenhöhe 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone S, Geländekategorie II

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.11.2019	Erste Fassung	Simon Wiedemann

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	4
3	Einleitung .....	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	6
4.1	Umgebungsbedingungen .....	6
4.2	Sicherheitsklasse .....	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	7
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Prüfergebnis.....	10
5.4	Schnittstellen .....	11
6	Auflagen.....	11
7	Schlussfolgerung .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
"Lastenbericht, Turm E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01, Abdeckende Betriebs-  
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01 der WEA E-138  
EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D0834309-0b  
Rev. 0b, Datum: 30.07.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis,  
"Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr: D0765798-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen und Controller (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-HT-111-FB-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-HT-111-FB-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Statement für das Bremsmoment  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Vergleich der Bremsmomente  
(Rotor) – DLC 5.x"  
Dokument-Nr: D0864370-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Regler Identifikation E138 EP3 E2  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Identifikation der Regler"  
Dokument-Nr.: D0867416-0  
Rev. 0, Datum: 09.09.2019

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme/ Beschreibung von Modellen und Methoden für die  
Lastrechnung  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Modell- und  
Methodenbeschreibung”  
Dokument-Nr.: D0870782-0  
Rev. 0, Datum: 16.09.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche”  
Dokument-Nr.: D0869627-0  
Rev. 0, Datum: 12.09.2019

## **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 der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3 E2, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

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

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02 mit einer Nabenhöhe von 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01) ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips).
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators).
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations).
- Gurney Flaps.

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

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

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 S GK II	IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	6.60 m/s	6.60 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	29.36 m/s	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	36.69 m/s	37.50 m/s
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s $I_{ref}$	0.16	0.16
Longitudinale Turbulenzintensität (EWM)	12.3 %	11.0 %
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 111 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.

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

	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 E2 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	4200 kW
Turmtyp	E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01 (Stahlrohrturm)
Turmhöhe	108.28 m
Nabenhöhe	111 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.59 m
Rotorachsneigung	7°

Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornenndrehzahl $n_r$	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	11.1 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.62 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2.0 - 28.0 m/s (Nennleistung bis 22.0 m/s)
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_w21304) df6b0efbd8561b18edf93d8d256f00ed (MD5 check sum)	
Aerodynamische Profile (Namen + T/C-Verhältnisse)	Cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F-WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	EC128-WoRWiT-	28 %
	EC122-WoRWiT-	22 %
Turmstruktur	Flexibel: powprod.\$PJ (1.1_w21304) df6b0efbd8561b18edf93d8d256f00ed (MD5 check sum)	
	Steif: powprod.\$PJ (1.1_s20102) 3583f47d3d13d600d3327e00b1e327a5 (MD5 check sum)	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum)  Controller-Input: EP3_E138_E2_E-138_EP3_E2_ST_111_FB_C_PA3_0.5.5_3.4.Daten.cipher a50393a646c57d06b819d5b953c70a59 (MD5 check sum)	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

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

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 werden 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: $k_{x,dyn}$	steif
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	1.E+11 Nm/rad / steif

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	0.511 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.228 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.817 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.286 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.205 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.308 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.203 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.150 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.212 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.350 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.210 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.180 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01)

## **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] - [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, etc. 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.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

### **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] - [1.2.7] 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 geprüften Unterlagen [1.1.1] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.

## **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

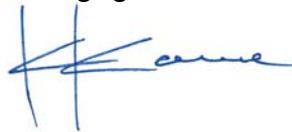
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "S. Wiedemann". The signature is fluid and cursive.

M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Konkel". The signature is more angular and blocky than the one on the left.

M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
RB E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-  
138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02),  
DIBt WZ 2, GK II

### - Lastannahmen für Turm und Fundament -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117142915-1 D II Rev. 1

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Nabenhöhe 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02) bezüglich der DIBt 2012 Windzone 2, Geländekategorie II

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.11.2019	Erste Fassung	Tim Kaczynski
1	11.12.2019	Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 hinzugefügt.	Simon Wiedemann

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	4
3	Einleitung .....	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	7
4.1	Umgebungsbedingungen .....	7
4.2	Sicherheitsklasse .....	8
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	8
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	11
5.3	Prüfergebnis.....	11
5.4	Schnittstellen.....	11
6	Auflagen.....	12
7	Schlussfolgerung .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

[1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
"Lastenbericht, Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01, Abdeckende Betriebs-  
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 der WEA E-  
138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.:  
D0833996-1a  
Rev. 1a, Datum: 30.07.2019

[1.1.2] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für den Vergleich der Turmeigenfrequenzen zwischen E-138  
EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02,  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Frequenzvergleich "  
Dokument-Nr.: D0871819-1a  
Rev. 1a, Datum: 07.11.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

[1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis,  
"Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr: D0765798-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

[1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen und Controller (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-HT-149-ES-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019

[1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-HT-149-ES-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019

- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Statement für das Bremsmoment  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Vergleich der Bremsmomente (Rotor) – DLC 5.x”  
Dokument-Nr: D0864370-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Regler Identifikation E138 EP3 E2  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Identifikation der Regler”  
Dokument-Nr.: D0867416-0  
Rev. 0, Datum: 09.09.2019
- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme/ Beschreibung von Modellen und Methoden für die Lastrechnung  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Modell- und Methodenbeschreibung”  
Dokument-Nr.: D0870782-0  
Rev. 0, Datum: 16.09.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche”  
Dokument-Nr.: D0869627-0  
Rev. 0, Datum: 12.09.2019

## **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 der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3 E2, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde der Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 basierend auf einem Vergleich der Turmeigenfrequenzen hinzugefügt.

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

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02 mit einer Nabenhöhe von 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02) ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips).
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators).
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations).
- Gurney Flaps.

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

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

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:

- Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 mit den Turmeigenfrequenzen gegeben in [1.1.2].
- 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.

---

<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 III A
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	7.63 m/s	7.50 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	30.81 m/s	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	38.52 m/s	37.50 m/s
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s $I_{ref}$	0.16	0.16
Longitudinale Turbulenzintensität (EWM)	12.3 %	11.0 %
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 149 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 E2 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	4200 kW
Turmtyp	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 (Stahlrohrturm-Beton-Hybridturm)
Turmhöhe	147.155 m
Nabenhöhe	149 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.59 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornendrehzahl $n_r$	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	11.1 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 – 12.62 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2.0 - 28.0 m/s (Nennleistung bis 22.0 m/s)
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

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

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) d8e4557136633f087c534a3bc72876ad (MD5 check sum)	
Aerodynamische Profile (Namen + T/C-Verhältnisse)	Cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F-WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	EC128-WoRWiT-	28 %
	EC122-WoRWiT-	22 %
EC116-WoRWiT-	16 %	
Turmstruktur	<u>Flexibel:</u> powprod.\$PJ (1.1_w20102) a3efe62408ec45de1a0b11f3a3b2ad77 (MD5 check sum)	
	<u>Steif:</u> powprod.\$PJ (1.1_s20102) d8e4557136633f087c534a3bc72876ad (MD5 check sum)	
Controller	<u>DLL-Controller:</u> Regler.dll c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum)	
	<u>Controller-Input:</u> EP3_E138_E2_E-138_EP3_E2_HT_149_ES_C_01_0.5.5_3.4.Daten.cipher fb6e84007cd7648810b417e521a3f4c2 (MD5 check sum)	

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 werden 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: $k_{x,dyn}$	steif
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	130000 MNm/rad / steif

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	0.511 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.228 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.817 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.286 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.205 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.776 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.205 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.746 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.236 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.883 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.235 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.841 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-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] - [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, etc. 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.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

## **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] - [1.2.7] 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 geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.
- 5.4.11. Die bereits mit Revision 0 geprüften und mit Datum 01.11.2019 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 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] - [1.1.2] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
RB E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01),  
DIBt WZ S, GK II**

**- Lastannahmen für Turm und Fundament -**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117142915-1 D III Rev. 0

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Nabenhöhe 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone S, Geländekategorie II

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.11.2019	Erste Fassung	Tim Kaczynski

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	4
3	Einleitung .....	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	6
4.1	Umgebungsbedingungen .....	6
4.2	Sicherheitsklasse .....	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	7
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Prüfergebnis.....	10
5.4	Schnittstellen .....	11
6	Auflagen.....	11
7	Schlussfolgerung .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
"Lastenbericht, Turm E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01, Abdeckende Betriebs-  
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01 der WEA E-138  
EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.:  
D0832634-0b  
Rev. 0b, Datum: 30.07.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis,  
"Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr: D0765798-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen und Controller (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-ST-131-FB-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-ST-131-FB-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Statement für das Bremsmoment  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Vergleich der Bremsmomente  
(Rotor) – DLC 5.x"  
Dokument-Nr: D0864370-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Regler Identifikation E138 EP3 E2  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Identifikation der Regler"  
Dokument-Nr.: D0867416-0  
Rev. 0, Datum: 09.09.2019

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme/ Beschreibung von Modellen und Methoden für die  
Lastrechnung  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Modell- und  
Methodenbeschreibung”  
Dokument-Nr.: D0870782-0  
Rev. 0, Datum: 16.09.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche”  
Dokument-Nr.: D0869627-0  
Rev. 0, Datum: 12.09.2019

## **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 der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3 E2, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

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

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02 mit einer Nabenhöhe von 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01) ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips).
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators).
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations).
- Gurney Flaps.

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

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

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 S GK II	IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	6.60 m/s	6.60 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
Longitudinale Turbulenzintensität (EWM)	12.6 %	11.0 %
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 131 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.

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

	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 E2 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	4200 kW
Turmtyp	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01 (Stahlrohrturm)
Turmhöhe	128.243 m
Nabenhöhe	131 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.59 m
Rotorachsneigung	7°

Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornenndrehzahl $n_r$	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	11.1 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.62 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2.0 - 28.0 m/s (Nennleistung bis 22.0 m/s)
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) 066790a72352f0bbd6705cabcd152533 (MD5 check sum)	
Aerodynamische Profile (Namen + T/C-Verhältnisse)	Cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F-WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	EC128-WoRWiT-	28 %
	EC122-WoRWiT-	22 %
EC116-WoRWiT-	16 %	
Turmstruktur	Flexibel: powprod.\$PJ (1.1_w20102) 71a6b8f7961326cb27b94b5e0e7803a5 (MD5 check sum)	
	Steif: powprod.\$PJ (1.1_s20102) 066790a72352f0bbd6705cabcd152533 (MD5 check sum)	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum)	
	Controller-Input: EP3_E138_E2_E-138_EP3_E2_ST_131_FB_C_01_DWT_0.5.5_GRI_3.4.Daten.cipher a905e00e0ab55978cc2889395a18f64a (MD5 check sum)	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

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

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 werden 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: $k_{x,dyn}$	steif
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	100000 MNm/rad / steif

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	0.511 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.228 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.817 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.286 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.153 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.976 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.152 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.885 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.157 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.010 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.156 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.911 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01)

## **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] - [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, etc. 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.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

### **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] - [1.2.7] 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 geprüften Unterlagen [1.1.1] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.

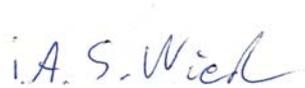
## **6 Auflagen**

- 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 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

A handwritten signature in blue ink that reads "i.A. S. Wich".

M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink that reads "Konkel".

M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
RB E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02),  
DIBt WZ S, GK II

### - Lastannahmen für Turm und Fundament -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117142915-1 D IV Rev. 0

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Nabenhöhe 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02) bezüglich der DIBt 2012 Windzone S, Geländekategorie II

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.11.2019	Erste Fassung	Tim Kaczynski

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	3
2	Prüfgrundlagen .....	4
3	Einleitung .....	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	6
4.1	Umgebungsbedingungen .....	6
4.2	Sicherheitsklasse .....	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	7
5	Durchgeführte Prüfungen .....	10
5.1	Prüfmethode .....	10
5.2	Anmerkungen .....	10
5.3	Prüfergebnis .....	10
5.4	Schnittstellen .....	11
6	Auflagen .....	11
7	Schlussfolgerung .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
"Lastenbericht, Turm E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02, Abdeckende Betriebs-  
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02 der WEA E-138  
EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.:  
D0832638-0b  
Rev. 0b, Datum: 30.07.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis,  
"Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr: D0765798-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen und Controller (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-ST-131-FB-C-02  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-ST-131-FB-C-02  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Statement für das Bremsmoment  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Vergleich der Bremsmomente  
(Rotor) – DLC 5.x"  
Dokument-Nr: D0864370-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Regler Identifikation E138 EP3 E2  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Identifikation der Regler"  
Dokument-Nr.: D0867416-0  
Rev. 0, Datum: 09.09.2019

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme/ Beschreibung von Modellen und Methoden für die  
Lastrechnung  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Modell- und  
Methodenbeschreibung”  
Dokument-Nr.: D0870782-0  
Rev. 0, Datum: 16.09.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche”  
Dokument-Nr.: D0869627-0  
Rev. 0, Datum: 12.09.2019

## **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 der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3 E2, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

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

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02 mit einer Nabenhöhe von 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02) ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips).
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators).
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations).
- Gurney Flaps.

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

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

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 S GK II	IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$	6.60 m/s	6.60 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
Longitudinale Turbulenzintensität (EWM)	12.6 %	11.0 %
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 131 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.

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

	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
Auslegungsliebensdauer	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 E2 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	4200 kW
Turmtyp	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02 (Stahlrohrturm)
Turmhöhe	128.243 m
Nabenhöhe	131 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.59 m
Rotorachsneigung	7°

Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornenndrehzahl $n_r$	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	11.1 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.62 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2.0 - 28.0 m/s (Nennleistung bis 22.0 m/s)
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) 08468456c458d04c42090dad5ed1f256 (MD5 check sum)	
Aerodynamische Profile (Namen + T/C-Verhältnisse)	Cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F-WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	EC128-WoRWiT-	28 %
	EC122-WoRWiT-	22 %
EC116-WoRWiT-	16 %	
Turmstruktur	Flexibel: powprod.\$PJ (1.1_w20102) 7d65932e3e9d686dafd4a785e4935f47 (MD5 check sum)	
	Steif: powprod.\$PJ (1.1_s20102) 08468456c458d04c42090dad5ed1f256 (MD5 check sum)	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum)	
	Controller-Input: EP3_E138_E2_E-138_EP3_E2_ST_131_FB_C_02_0.5.5_3.4.Daten.cipher 81f1affd3c2a9322b39be5bca27313c9 (MD5 check sum)	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

---

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

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 werden 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: $k_{x,dyn}$	steif
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	100000 MNm/rad / steif

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	0.511 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.228 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.817 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.286 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.155 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.005 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.154 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.921 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.159 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.045 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.158 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.953 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-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] - [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, etc. 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.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

### **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] - [1.2.7] 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 geprüften Unterlagen [1.1.1] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.

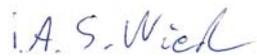
## 6 Auflagen

- 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

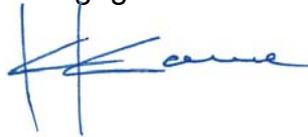
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

A handwritten signature in blue ink that reads "i.A. S. Wich".

M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink that reads "Konkel".

M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
 RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01),  
 DIBt WZ 2, GK II

### - Lastannahmen für Turm und Fundament -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117142915-1 D V Rev. 2

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Nabenhöhe 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone 2, Geländekategorie II

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	12.09.2019	Erste Fassung	Tim Kaczynski
1	13.01.2020	Korrekturen in <u>Tabelle 4.1</u> (mittlere Jahreswindgeschwindigkeit, nachfolgende Passage), <u>Tabelle 4.4</u> (Rotorblattlänge, Beschreibung der Rotorblattmasse, Rotordurchmesser, Rotordrehzahlbereich, Windgeschwindigkeitsbereich) und <u>Tabelle 4.8</u> (Blatteigenfrequenz edgewise).	Tim Kaczynski
2	14.01.2020	Korrektur in <u>Tabelle 4.4</u> (Rotordurchmesser).	Tim Kaczynski

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	3
3	Einleitung .....	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	6
4.1	Umgebungsbedingungen .....	6
4.2	Sicherheitsklasse .....	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells .....	7
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	11
5.3	Prüfergebnis.....	11
5.4	Schnittstellen .....	11
6	Auflagen.....	12
7	Schlussfolgerung .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm,  
“Lastenbericht, Turm E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs-  
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 der WEA E-  
138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC”  
Dokument-Nr.:  
D0834311-0b  
Rev. 0b, Datum: 30.07.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis,  
“Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2”  
Dokument-Nr: D0765798-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen und Controller (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-HT-160-ES-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Windfelder (elektronisch erhalten),  
Dateiname: E-138\_EP3\_E2-HT-160-ES-C-01  
Eingangsdatum: 21.06.2019

## **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 der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3 E2, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

Mit Rev. 1 und Rev. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden Korrekturen in Tabelle 4.1 (mittlere Jahreswindgeschwindigkeit, nachfolgende Passage), Tabelle 4.4 (Rotorblattlänge, Beschreibung der Rotorblattmasse, Rotordurchmesser, Rotordrehzahlbereich, Windgeschwindigkeitsbereich) und Tabelle 4.8 (Blatteigenfrequenz edgewise) vorgenommen.

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

Die betrachtete Anlagenkonfiguration E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02 mit einer Nabenhöhe von 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01) ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips).
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators).
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations).
- Gurney Flaps.

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

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

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 Söldrehzahl bei geringerem oder gleichem Drehmoment, wenn die aus der Söldrehzahl 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 $V_{ave}$	7.71 m/s	7.50 m/s
Formparameter der Weibull-Funktion $k$	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$ (10 Minuten Mittelwert)	31.17 m/s	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$ (10 Minuten Mittelwert)	38.96 m/s	37.50 m/s
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s $I_{ref}$	0.16	0.16
Longitudinale Turbulenzintensität (EWM)	12.2 %	11.0 %
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	2 m/s

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

	<b>DIBt WZ 2 GK II</b>	<b>IEC IIIA</b>
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 160 m

Für die Erstellung der Betriebslasten ist die jeweils höhere mittlere Jahreswindgeschwindigkeit aus DIBt [2.1] und IEC [2.3] zugrunde gelegt.

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.

	<b>Luftdichte [kg/m³]</b>
Mittlere Jahresluftdichte	$\leq 1.225$
Maximale Luftdichte im Produktionsbetrieb	$\leq 1.341$
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	$\leq 1.394$

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 E2 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	4200 kW
Turmtyp	E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01 (Stahlrohrturm-Beton-Hybridturm)
Turmhöhe	158.2 m
Nabenhöhe	160 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.590 m
Rotordurchmesser (inkl. Vorbiegung und Konuswinkel)	138.25 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornenddrehzahl $n_r$	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	11.1 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.62 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	2.0 - 28.0 m/s
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) b16cb04ca2856c82b1c5c29f3a983951 (MD5 check sum)	
Aerodynamische Profile (Namen + T/C-Verhältnisse)	Cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F-WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	EC128-WoRWiT-	28 %
	EC122-WoRWiT-	22 %
	EC116-WoRWiT-	16 %

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

<sup>3</sup> Start der Sturmregelung bei 22 m/s

	Dateiname
Turmstruktur	<u>Flexibel:</u> powprod.\$PJ (1.1_w20102) 5af434a17035263075e41a8f6bc841fe (MD5 check sum) <u>Steif:</u> powprod.\$PJ (1.1_s20102) b16cb04ca2856c82b1c5c29f3a983951 (MD5 check sum)
Controller	<u>DLL-Controller:</u> Regler.dll c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum) <u>Controller-Input:</u> EP3_E138_E2_E-138_EP3_E2_HT_160_ES_C_01_0.5.5_3.4.Daten.cipher 9d04e2b211eb4959bd375859559f828c (MD5 check sum)

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 werden 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: $k_{x,dyn}$	steif
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	210000 MNm/rad / steif

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	0.511 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.228 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.817 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.286 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.209 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.811 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.207 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.778 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.221 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.934 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.220 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.885 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01)

## 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] - [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, etc. 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.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

## 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] - [1.2.3] 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 geprüften Unterlagen [1.1.1] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.
- 5.4.11. Die bereits mit Revision 0 geprüften und mit Datum 12.09.2019 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 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

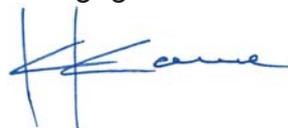
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02,  
verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II

- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117142915-1 D VI Rev.1

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, verschiedene Nabenhöhen bezüglich der DIBt 2012

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.11.2019	Erste Fassung	Simon Wiedemann
1	11.12.2019	Dazugehöriges Dokument [1.2.3] mit Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 ohne Änderung der Lasten aktualisiert.	Simon Wiedemann

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
	1.1 Geprüfte Dokumente .....	3
	1.2 Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen .....	5
3	Einleitung .....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	8
	4.1 Umgebungsbedingungen .....	8
	4.2 Sicherheitsklasse .....	9
	4.3 Beschreibung des Anlagenmodells .....	9
5	Durchgeführte Prüfungen.....	11
	5.1 Prüfmethode.....	11
	5.2 Anmerkungen.....	12
	5.3 Prüfergebnis.....	12
	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 E2, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt  
E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC "  
Dokument-Nr.: D0830642-1  
Rev. 1, Datum: 30.07.2019
- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht mit Blattlastbeschreibung,  
„Lastenbericht Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 Abdeckende Lasten  
für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 E2  
nach DIBt und IEC“  
Dokument-Nr.: D0834228-0b  
Rev. 0b, Datum: 30.07.2019

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Design Basis,  
"Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr: D0765798-0  
Rev. 0, Datum: 22.08.2019

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01,  
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3-E2-ST-111-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament - "  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D I  
Rev. 0, Datum: 01.11.2019
- [1.2.3] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und  
E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02,  
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 E2-HT-149-ES-C-01 und E- 138 EP3 E2-HT-  
149-ES-C-02), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament - "  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D II  
Rev. 1, Datum: 11.12.2019

- [1.2.4] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01,  
“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 E2-ST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament - “  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D III  
Rev. 0, Datum: 01.11.2019
- [1.2.5] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02,  
“Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 E2-ST-131-FB-C-02), DIBt WZ S, GK II -  
Lastannahmen für Turm und Fundament - “  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D IV  
Rev. 0, Datum: 01.11.2019
- [1.2.6] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II  
- Lastannahmen für Turm und Fundament -“  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D V  
Rev. 0, Datum: 12.09.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Statement für das Bremsmoment  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Vergleich der Bremsmomente  
(Rotor) – DLC 5.x”  
Dokument-Nr: D0864370-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme für die Regleridentifikation E138 EP3 E2  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Identifikation der Regler”  
Dokument-Nr.: D0867416-0  
Rev. 0, Datum: 09.09.2019
- [1.2.9] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme/ Beschreibung von Modellen und Methoden für die  
Lastrechnung  
“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Modell- und  
Methodenbeschreibung”  
Dokument-Nr.: D0870782-0  
Rev. 0, Datum: 16.09.2019

[1.2.10] ENERCON GmbH:

Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen

“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche”

Dokument-Nr.: D0869627-0

Rev. 0, Datum: 12.09.2019

[1.2.11] ENERCON GmbH:

Stellungnahme für Flanschlasten E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3 und E-138 EP3 E2

“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Flanschlasten”

Dokument Nr.: D0867638-1

Rev. 1, Datum 26.09.2019

[1.2.12] ENERCON GmbH:

Eingangsdaten für Flanschlasten E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3 und E-138 EP3 E2

Dateiname: D0867631-0\_Eingangsdaten\_Flanschlasten E-115\_EP3\_E3,\_E-126\_EP3,\_E-138\_EP3\_und\_E-138\_EP3\_E2.xlsx

Erhalten: 11.09.2019

## 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 E2, welche im folgenden Kapitel und den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.6] genauer beschrieben sind. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] 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] - [1.2.6] 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] - [1.2.6] zu entnehmen.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde Referenz [1.2.3] aktualisiert um den Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 hinzuzufügen. Dies basiert auf dem Vergleich der Turmeigenfrequenzen.

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 E2, RB E-138 EP3-RB-02 ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips)
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators)
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations)
- Gurney Flaps

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.

---

<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 $V_{ave}$	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
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/m³]
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 E2 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	4200 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-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.6 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornendrehzahl $n_r$	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl $n_s^2$	11.1 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 - 12.62 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2 - 28 m/s
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

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

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102 aus E-138_EP3-E2-ST-111-FB-C-01) 3583f47d3d13d600d3327e00b1e327a5 (MD5 check sum)	
Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]
	Cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F-WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	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.

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: $k_{\varphi,dyn}$	siehe [1.2.2] - [1.2.6]

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	0.511 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.228 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.817 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.286 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.6]

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, 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.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

## 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] - [1.2.12] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] - [1.1.2] 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 Lastberechnung 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] - [1.2.6].
- 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. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] 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. Die bereits mit Revision 0 geprüften und mit Datum 01.11.2019 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 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] - [1.1.2] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02 sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkell

## Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E2  
nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

### - Sicherheitssystem und Handbücher-

**TÜV NORD Bericht-Nr.:** 8117 142 915-2 D Rev. 1

**Prüfgegenstand:** Konzeptprüfung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher für die ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	28.11.2019	Erstausgabe	O. Raupach
1	02.04.2020	Revision von Unterlagen, Löschung von Auflagen, Ergänzung HT160m	O. Raupach

## Inhalt

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

## **1 Eingereichte Unterlagen**

### **1.1 Geprüfte Unterlagen**

- [1.1.1] ENERCON GmbH  
Technical Description  
ENERCON Wind Energy Converter – E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0755385-4 / DA  
Rev. 4, Datum: 26.08.2019
  
- [1.1.2] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung  
Elektrisches Blattverstellungssystem E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0854579-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
  
- [1.1.3] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung  
Fehlermodes Control System E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0848874-1  
Rev. 1, Datum: 16.03.2020
  
- [1.1.4] ENERCON GmbH  
Risikobeurteilung E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0743535-4-1Risikobeurteilung E-138 EP3 E2.xlsx  
Rev. 4, Datum: 30.10.2019
  
- [1.1.5] ENERCON GmbH  
E-138 EP3 E2 System Requirement Specification - Scoping  
Dokument Nr.: D0764945-3  
Rev. 3, Datum: 27.06.2019
  
- [1.1.6] ENERCON GmbH  
Safety Concept /Safety Requirement Specification  
E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3  
Dokument Nr.: D0830549-0a / DB  
Rev. 0a, Datum: 02.08.2019
  
- [1.1.7] ENERCON GmbH  
Technische Beschreibung  
Bestimmung der Performance Level EP-SCS-02  
Dokument Nr.: D0757007-0  
Rev. 0, Datum: 17.05.2019

- [1.1.8] ENERCON GmbH  
System FMEA E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0877158-0  
Workshop 19, Datum: 04.11.2019
  
- [1.1.9] ENERCON GmbH  
Parameterliste  
Safety System E-138 EP3 E2, E-115 EP3 E3 -  
Dokument Nr.: D0889041-2  
Rev. 2, Datum: 15.11.2019
  
- [1.1.10] ENERCON GmbH  
Betriebsanleitung  
ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / 4200 kW  
Dokument Nr.: D0866277-0 / DC  
Rev. 0, Datum: 10.10.2019
  
- [1.1.11] ENERCON GmbH  
Aufbauanleitung  
Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul  
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-16-015 Rev003b  
Rev. 3b, Datum: 15.04.2019
  
- [1.1.12] ENERCON GmbH  
Montageanleitung  
Vormontage und Montage Gondel  
Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-19-050 Rev000  
Rev. 0, Datum: 30.08.2019
  
- [1.1.13] ENERCON GmbH  
Arbeitsanleitung  
Mechanische Inbetriebnahme und 300 h-Wartung  
Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0859078-0  
Rev. 0, Datum: 28.08.2019
  
- [1.1.14] ENERCON GmbH  
Wartungsanleitung  
Hauptwartung Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0859069-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019

- [1.1.15] ENERCON GmbH  
Inbetriebnahmeanleitung (elektrisch)  
Inbetriebnahme ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0858925-Rev000  
Rev. 0, Datum: 23.08.2019
- [1.1.16] ENERCON GmbH  
Verladehandbuch  
E-115 E3/E-126/E-138 E1E2 EP3  
Dokument Nr.: PLM-TES-DC032-VH\_E-115E3\_E-126\_E-138E1E2\_EP3-  
Rev001de-de  
Rev. 1, Datum: 25.10.2019
- [1.1.17] ENERCON GmbH  
Prototypentestplan  
E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3  
Dokument Nr.: D0838022-0  
Rev. 0, Datum: 04.11.2019
- [1.1.18] ENERCON GmbH  
Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften  
Dokument-Nr.: BA\_bl\_1001-1\_Gesundheits-, Arbeits- und  
Umweltschutzvorschriften\_WEA-Service\_Rev001\_de-de  
Rev. 1, Datum: 12.12.2019
- [1.1.19] ENERCON GmbH  
Stellungnahme des Betriebs in Abhängigkeit der Außentemperatur für NC u. CC  
Dokument Nr.: D0942308-0 / DZ  
Rev. 0, Datum: 25.03.2020
- [1.1.20] Max Bögl  
Errichtungsanleitung / Assembly Manual  
Dokument WEA ErrAnl E20  
Datum: 16.03.2020

## **1.2 Zugehörige Unterlagen**

- [1.2.1] ENERCON GmbH  
Design Basis documentation  
Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0765789-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

- [1.2.2] ENERCON GmbH  
Design Basis  
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen”  
Document-ID: D0666243-3  
Rev. 3, Datum: 30.07.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH  
Safety Plan / Sicherheitsplan  
Windenergieanlage E-138 EP3 E2/E-115 EP3 E3  
Dokument Nr.: D0815639-2  
Rev. 2, Datum: 18.10.2019
- [1.2.4] ENERCON GmbH  
Enersafe Report  
Dokument Nr.: Enersafe\_Report\_2019\_08\_09.pdf  
Rev. 0, Datum: 09.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH  
V&V-Plan  
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3  
Dokument-Nr.: D0870816-1 / DZ  
Rev. 1, Datum 14.01.2020
- [1.2.6] ENERCON GmbH  
WEA Systementwurf E-138 EP3 E2 (Draft)  
Dokument Nr.: D0873562-0  
Rev. 0, Datum: 08.10.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH  
Stellungnahme Errichtungshandbücher  
Dokument Nr.: D0828100-1 / DZ  
Rev. 1, Datum: 06.11.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH  
Überdrehzahlabschaltungen  
Dokument Nr.: D0714684-0  
Eingereicht: 15.06.2018

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Fassung Oktober 2012
- [2.2] International Standard IEC 61400-1:  
"Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, 2005-08

- [2.3] International Standard IEC 61400-1:  
 "Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, Amendment 1,  
 2010-10

### 3 Einführung

Die Prüfung umfasst die eingereichten Unterlagen [1.1.1] – [1.1.20] 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 Konfiguration

Die ENERCON E-138 EP3 E2 ist eine dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlage mit einer maximalen Nennleistung von 4200 kW. Die Windenergieanlagen arbeiten nach dem Prinzip variabler Leistung durch Einzelblattverstellung. Das Hauptbremssystem der ENERCON E-138 EP3 E2 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 E2
Windklasse	IEC IIIA / DIBt WZ 2 GK2 / WZ S GK2
Nennleistung (max.)	4200 kW
Rotorblatt (Durchmesser)	E-138 EP3-RB-02 (138.25m)
Turm (Nabenhöhe)	ST (81 m, 96m, 111 m, 131 m) HT (149m, 160m)
Nenndrehzahl	10.8 min <sup>-1</sup>
Drehzahlgrenze Betriebsführung	12.8 min <sup>-1</sup>
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem	13.9 min <sup>-1</sup>
Einschaltwindgeschwindigkeit	2 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	28 m/s (Sturmregelung ab 22 m/s)
Safety Controller / Hersteller	EP-SCS-02 / Bachmann MX220/CF
Controller Softwareversion	EP3-CS-02

Sicherheitssystemversion	V1.08 (checksum A: 0xA1F3812F B: 0xA66DBB79)
Netzfrequenz	50/60Hz
Design-Lebensdauer	25 Jahre
Pitchsystem	elektrische Antriebe (DC) für jedes der drei Rotorblätter, Kondensatoren für die Notstromversorgung

#### 4.1: Konfiguration

### 4.2 Temperaturvarianten

Die Windenergieanlage E-138 EP3 E2 wurde für den unbegrenzten Betrieb in mitteleuropäischem Klima entwickelt, d. H. für einen Temperaturbereich von  $-15^{\circ}\text{C}$  bis mindestens  $+30^{\circ}\text{C}$ . Bei höheren Umgebungstemperaturen und gleichzeitig starkem Wind kann das Betriebsführungssystem die Windenergieanlage, abhängig von den aktuellen Standortbedingungen, mit reduzierter Leistung betreiben.

Im Temperaturbereich von  $-15^{\circ}\text{C}$  bis  $-25^{\circ}\text{C}$  wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Zwischen  $-25^{\circ}\text{C}$  und  $-40^{\circ}\text{C}$  bleibt die Anlage mit maximal 25% der Nennleistung weiter in Betrieb. Wenn die Temperatur unter  $-40^{\circ}\text{C}$  fällt, stoppt die Windenergieanlage. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von  $-35^{\circ}\text{C}$  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 E2 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 [1.1.1], [1.1.6] und [1.2.4] enthalten.

#### **4.4 Mechanische Bremse**

Die mechanische / hydraulische Scheibenbremse sorgt für einen vollständigen Stillstand des Rotors bei Betätigung des Not-Halt-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 [1.1.8] wurde das Sicherheitssystem auf seine Fähigkeit, die Windenergieanlage bei Ausfall der Steuerung in einem sicheren Zustand zu halten überprüft. Mit [1.1.7] 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.

Die 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 an der geprüften Dokumentation bzw. am Betriebsführungs- und Sicherheitssystem sowie an den Handbüchern machen diesen Prüfbericht ungültig. Diese müssen TÜV NORD zur erneuten Bewertung vorgelegt werden.

## 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 E2 Windenergieanlage zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

### 5.3.2 Qualitätsmanagement

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der ENERCON E-138 EP3 E2 zu vermeiden. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) und einen Sicherheitsplan. Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler wurden berücksichtigt.

### 5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

- Schutz vor Überdrehzahl / aerodynamische Bremse,
- Not Stop,
- Kabelverdrillung,
- Übermäßige Vibration/ Erschütterung,

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] erreicht. Die Schutzfunktionen erfüllen die Anforderungen der EN ISO 13849-1.

Nach einer Betriebszeit von 20 Jahren müssen die elektrischen Komponenten des Sicherheitssystems für die verbleibende Lebensdauer der WEA (bis zu 25 Jahre) ertüchtigt 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 Protokolle zur Verfügung. Sicherheitsanweisungen wurden für vorhersehbare Gefahren gegeben. Die entsprechenden Protokolle werden über das Technical Service Info-System (TSI-Datenbank) verwaltet, das die aktuellen Protokolle bereitstellt und die Einträge speichert.

Die Handbücher enthalten die erforderlichen Informationen in geeigneter Weise, mit Ausnahme der folgenden Punkte:

Das Handbuch zur Turmmontage [1.1.11] enthält noch nicht die E-138 EP3 E2 und nicht alle Nabhöhen (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.1). Mit Dokument [1.2.7] erklärte ENERCON die Gültigkeit des Handbuchs auch für die E-138 EP3 E2 mit Stahlurm 81m, 96m, 111m und 131m. Mit demselben Dokument erklärte ENERCON die Gültigkeit auch für die E-138 EP3 E2 mit Hybridurm 149m.

## 5.4 Schnittstellen

Die lastrelevanten Parameter, wie z.B. Rotordrehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeitsgrenzen, Bremsprogramme sowie Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen für die Lastberechnungen überprüft.

Der Ausschluss des Lastfalls 2.1 (Überdrehzahl  $n_4$ ) wurde anhand einer Analyse der auftretenden Häufigkeit vergleichbarer Anlagen bewertet [1.2.8]. Das Ereignis wurde als „abnormal“ bewertet, da die Ausfallrate weniger als einmal in der Lebensdauer (25 Jahre) beträgt. Der Lastfall 2.2 (Überdrehzahl  $n_A$ ) ist aufgrund des gleichen Sicherheitsfaktors und der höheren Schwelle für Überdrehzahl abdeckend. Diese Annahme wird anhand der in Jahresberichten dokumentierten Häufigkeiten validiert.

## 6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 Das Handbuch für die Turmmontage ist mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Nabhöhen zu ergänzen und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung einzureichen.
- 6.2 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.

6.3 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 Windenergieanlage aufzubewahren.

## 7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die ENERCON E-138 EP3 E2 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:



Dipl.-Ing. O. Raupach

freigegeben:



Dipl.-Ing. L. Klüppel

An der Prüfung beteiligt:

Dipl.-Ing. G. Ewald

# Gutachtliche Stellungnahme

## ENERCON E-138 EP3 E2

### – Elektrische Komponenten und Blitzschutz –

<b>TÜV NORD Report Nr.:</b>	8117 142 915 - 5 D Rev. 1
<b>Prüfobjekt:</b>	Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E2
<b>Prüfumfang:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- DIBt 2012</li><li>- IEC 61400-1 ed. 3</li></ul>
<b>Hersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 34 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Experte
0	27.11.2019	Erste Fassung	H. Grafe
1	07.04.2020	Umrichtertestberichte hinzugefügt Technische Beschreibung Cold Climate aufgelistet Alternative Transformatoren aufgeführt Aktualisierte Konstruktionsbasis hinzugefügt EMV Dokumente aufgeführt Weitere Turmhöhe 149 m aufgelistet Geänderte Seiten: 5, 6, 7, 15, 17, 18, 19, 21, 26, 27, 29, 33	H. Grafe

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Dokumente .....	4
1.1	Geprüfte Dokumente .....	4
2	Prüfgrundlagen.....	19
3	Einleitung .....	21
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	21
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen .....	21
4.2	Klimatische Bedingungen.....	21
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten.....	22
5	Durchgeführte Prüfungen.....	28
5.1	Prüfmethode.....	28
5.2	Anmerkungen.....	28
5.3	Prüfbemerkungen.....	29
5.3.1	Allgemeine Anforderungen an das elektrische System .....	29
5.3.2	Back-up Spannungsversorgungssystem .....	31
5.3.3	Elektrische Leiter.....	31
5.3.4	Schutz- und Trenneinrichtungen .....	31
5.3.5	Blitzschutz- und Erdungssystem .....	32
5.3.6	Selbsterregung.....	33
5.3.7	Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit .....	33
5.3.8	Kalt-Wetter-Ausführung.....	33
5.4	Schnittstellen.....	33
6	Auflagen .....	34
7	Schlussfolgerung.....	34

## 1 Dokumente

### 1.1 Geprüfte Dokumente

#### ENERCON E-138 EP3 E2

- [1.1.1] ENERCON  
EG/EU-Konformitätserklärung  
Dokumenten-Nr.: D0376121-12  
Rev. Entwurf, Datum: 25.01.2019 (empfangen)

#### Generator

- [1.1.2] ENERCON  
Kurzbeschreibung Generator E-138 EP3 E2-GE-01  
Dokumenten-Nr.: D0882532-0a  
Rev. 0a, Datum: 24.10.2019
- [1.1.3] ENERCON  
Zeichnung Nameplate  
Dokumenten-Nr.: D0882535-0  
Rev. 0, Datum: 30.10.2019 (empfangen)
- [1.1.4] ENERCON  
E-138 EP3 E2-GE-01 Thermisches Verhalten und Prüfung nach DIN 60034  
Dokumenten-Nr.: D0882534-1  
Rev. 1, Datum: 30.10.2019
- [1.1.5] ENERCON  
Herstellereklärung, Drehzahlauslegung des Generator-Rotors vom Typ  
E-138 EP3 E2-GE-01  
Dokumenten-Nr.: D0882531-0  
Rev. 0, Datum: 30.10.2019
- [1.1.6] Arbeitsgemeinschaft Generatorfertigung  
Fertigungs- und Prüfprotokoll Scheibenrotor E-138 EP3-E2-GE-01  
Dokumenten-Nr.: FPP\_1049\_E-138 EP3-E2-GE.01\_de-de\_Rev000\_Schei-  
benrotor  
Rev. 0, Datum: 15.10.2019
- [1.1.7] Arbeitsgemeinschaft Generatorfertigung  
Fertigungs- und Prüfprotokoll Scheibenrotor E-138 EP3-E2-GE-01  
Dokumenten-Nr.: FPP\_1048\_E-138\_EP3-E2-GE-01\_de-de\_Rev000\_Stator-  
ring  
Rev. 0, Datum: 23.09.2019

## Umrichter

- [1.1.8] ENERCON  
Datenblatt PC B2B-Umrichter (Artikel-Nr. 676555)  
Dokumenten-Nr.: D0835803-2  
Rev. 2, Datum: 27.11.2019 (empfangen)
  
- [1.1.9] ENERCON  
Technische Beschreibung Umrichter B2B V2 SAP 676555  
Dokumenten-Nr.: D0849519-1  
Rev. 0, Datum: 17.07.2019
  
- [1.1.10] ENERCON  
Technische Information Kühlung Leistungsschrank B2B PC17034  
Dokumenten-Nr.: D0852253-0  
Rev. 0, Datum: 26.07.2019
  
- [1.1.11] ENERCON  
Zeichnung Power cabinet B2B V2 VAR – assembly view  
Dokumenten-Nr.: D0836954-0  
Rev. 0, Datum: 05.07.2019
  
- [1.1.12] ENERCON  
Schaltplan power cabinet  
Dokumenten-Nr.: D0876520-0b  
Rev. 0b, Datum: 21.10.2019
  
- [1.1.13] ENERCON  
Name plate cabinet power – B2B V2 STD  
Dokumenten-Nr.: D0887687  
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)
  
- [1.1.14] ENERCON  
Erklärung zur Überspannungskategorie III des B2B-Umrichters  
Dokumenten-Nr.: D0883451-1  
Rev. 0, Datum: 16.10.2019
  
- [1.1.15] ENERCON  
Messbericht PC17034 Erwärmungslauf TRL6  
Dokumenten-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  
Dokumenten-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD  
Rev. 0, Datum: 01.02.2016
  
- [1.1.18] ENERCON  
Versuchsprotokoll Kurzschluss DC-seitig – Version Thyristor  
Dokumenten-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD  
Rev. 0, Datum: 01.02.2016
  
- [1.1.19] ENERCON  
Prüfbericht Schwingprüfung B2B V1 EN62477-1  
Dokumenten-Nr.: D0904865-0  
Rev. 0, Datum: 13.02.2020
  
- [1.1.20] ENERCON  
Prüfbericht Prüfung Hydrostatischer Druck B2B V1 EN62477-1  
Dokumenten-Nr.: D0918347-0  
Rev. 0, Datum: 18.02.2020
  
- [1.1.21] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung der Vollständigkeit des Schutzgehäuses B2B V1  
Dokumenten-Nr.: D0850230-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.22] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung Kondensatorentladung B2B V1  
Dokumenten-Nr.: D0850716-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.23] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung Messung des Berührungsstromes B2B V1  
Dokumenten-Nr.: D0850970-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020
  
- [1.1.24] ENERCON  
Prüfbericht, Prüfung Erwärmungsprüfung B2B V1  
Dokumenten-Nr.: D0896794-0  
Rev. 0, Datum: 18.02.2020
  
- [1.1.25] ENERCON  
Prüfbericht, Wechsel- oder Gleichspannungsprüfung B2B V1  
Dokumenten-Nr.: D0927995-0  
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.26] ENERCON  
Prüfbericht, Trockene Wärme Prüfung B2B V1  
Dokumenten-Nr.: D0928000-0  
Rev. 0, Datum: 18.02.2020
- [1.1.27] AIT  
Prüfbericht, ENERCON\_EN62447-1 B2B-Umrichter 365kVA  
Dokumenten-Nr.: SGP-15893\_01R1  
Rev. R1, Datum: 17.01.2020

### Blitzschutz

- [1.1.28] ENERCON  
Technische Beschreibung Blitzschutz  
ENERCON Windenergieanlagen EP1, EP2, EP3  
Dokumenten-Nr.: D0260891-11  
Rev. 11, Datum: 28.10.2019
- [1.1.29] ENERCON  
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Flachgründung mit Teilauftrieb  
Dokumenten-Nr.: D0872882-0  
Rev. 0, Datum: 23.09.2019
- [1.1.30] ENERCON  
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Tiefgründung mit Teilauftrieb  
Dokumenten-Nr.: D0872883-0  
Rev. 0, Datum: 24.09.2019
- [1.1.31] ENERCON  
Technische Beschreibung  
Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02  
Dokumenten-Nr.: D0812489-0  
Rev. 0, Datum: 15.05.2019
- [1.1.32] TÜV Süd  
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem  
Prüfnummer: 2632058-31-d  
Rev. 0, Datum: 30.08.2017
- [1.1.33] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel  
Dokumenten-Nr.: R1382.190.10001  
Rev. 0, Datum: 15.04.2019
- [1.1.34] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile  
Dokumenten-Nr.: R1382.190.10000  
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.35] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Zusammenbau  
Dokumenten-Nr.: R.1382.190.10002  
Rev. 0, Datum: 15.04.2019
  
- [1.1.36] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Ableitring  
Dokumenten-Nr.: R1265.190.10003  
Rev. 1, Datum: 06.03.2019
  
- [1.1.37] ENERCON  
Zeichnung Rotorblatt Einbau Verschlussstopfen  
Dokumenten-Nr.: R01.230.10075  
Rev. 0, Datum: 17.07.2019
  
- [1.1.38] ENERCON  
Zeichnung Stopfen Verschlussstopfen  
Dokumenten-Nr.: R01.230.10074  
Rev. 1, Datum: 23.07.2019
  
- [1.1.39] ENERCON  
Technische Information Messung des Erdungswiderstands  
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-DC008-Messung des Erdungswiderstands-  
Rev006de-de  
Rev. 6, Datum: 30.08.2016

#### Schleifringübertrager

- [1.1.40] ENERCON  
Spezifikation Schleifringübertrager EP3-003-BH1-ENC=-FORJ1  
Dokumenten-Nr.: D0866477-0  
Rev. 0, Datum: 11.09.2019
  
- [1.1.41] ENERCON  
Schaltplan Schleifringübertrager  
Dokumenten-Nr.: D0840907-0  
Rev. 0, Datum: 01.07.2019

#### Elektrischer Antrieb Azimut

- [1.1.42] ENERCON  
Spezifikation dezentrale Azimutantriebe 3,3 kW  
Dokumenten-Nr.: D0632905-8  
Rev. 8, Datum: 08.10.2019

- [1.1.43] Getriebebau NORD  
Motordatenblatt Motortyp 112MH/4 BRE60 PT1000  
Dateiname: Motordatenblatt\_ENERCON-Azimuthmotor\_NC  
Rev. -, Datum: 24.10.2019
  
- [1.1.44] Drivesystem NORD  
Motoren Betriebs- und Montageanleitung  
Dokumenten-Nr.: B 1091 de-2319  
Rev.B 1091, Datum: 06.2019
  
- [1.1.45] Getriebebau NORD  
Bild Typenschild  
Dateiname: Motor-TS\_Enercon Azimut NC  
Rev. -, Datum: 25.10.2019 (empfangen)
  
- [1.1.46] Drivesystem NORD  
Auszug vom Handbuch für Frequenzumrichter  
Dokumenten-Nr.: BU 0200 de-3118  
Rev. -, Datum: 25.10.2019 (empfangen)
  
- [1.1.47] Drivesystem NORD  
Bild Typenschild  
Dateiname: Typenschild-SK200E  
Rev., Datum: 25.10.2019 (empfangen)

#### Elektrischer Antrieb Pitch

- [1.1.48] ENERCON  
Technische Beschreibung Elektrisches Blattverstellungssystem  
ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2  
Dokumenten-Nr.: D0854579-0  
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
  
- [1.1.49] ENERCON  
Spezifikation Blattverstellungsmotor DC-8.8kW-38x58-FF265-85  
Dokumenten-Nr.: D0765312-1  
Rev. 1, Datum: 29.08.2019
  
- [1.1.50] ENERCON  
Zeichnung pitch motor DC-8.8W-38x58-FF265-85  
Dokumenten-Nr.: EP3.01.130-0  
Rev. 0, Datum: 21.08.2019
  
- [1.1.51] Emod Motoren  
Datenblatt DC Pitchmotor ENERCON E-138 EP3 E2 und E115 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D0873507-0  
Rev. 1, Datum: 19.09.2019

[1.1.52] Emod Motoren  
Massblatt für Motor  
Dokumenten-Nr.: B0616.20.116549-00; ENERCON Dokumenten-Nr.:  
D0896099-0  
Rev. 0, Datum: 07.11.2019

[1.1.53] ENERCON  
Messbericht Blattverstellmotor Emod E-138EP3E2  
Dokumenten-Nr.: D0847529-0  
Rev. 0, Datum: 07.11.2019

[1.1.54] ENERCON  
Messbericht IB BVS E-138 EP3 E2  
Dokumenten-Nr.: D0861403-0  
Rev. 0, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

#### Back-up System, Ladegeräte, Energiespeicher

[1.1.55] LS Mtron Ltd.  
Product Specification LSUC 002R7C 3000F EA LT02 EN  
Dokumenten-Nr.: V7\_20180501  
Rev. -, Datum: 20.11.2019 (empfangen)

#### Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung

[1.1.56] ENERCON  
Auslegung Turmkabelanlage E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2  
Dokumenten-Nr.: D0854039-1  
Rev. -, Datum: 01.08.2019 (empfangen)

[1.1.57] Prysmian  
Data sheet PROTOTHEN-X (N)A2XSY  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0629505-0  
Rev. -, Datum: 31.07.2017

[1.1.58] Prysmian  
Data sheet WINDFLEX GLOBAL EMC S-3GDSHOEU  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0630109-0  
Rev. -, Datum: 04.09.2017

[1.1.59] ENERCON  
Technical Description ENERCON Wind Energy Converter Steady-State  
Short-Circuit Calculations  
Dokumenten-Nr.: D0138322-11  
Rev. 11, Datum: 30.08.2019

## Schaltpläne

- [1.1.60] ENERCON  
Übersichtsschaltplan E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D0842364-0  
Rev. 0, Datum: 18.07.2019
  
- [1.1.61] ENERCON  
Blattsicherheitsschrank  
Dokumenten-Nr.: D0845302-0  
Rev. 0, Datum: 01.07.2019
  
- [1.1.62] ENERCON  
Kondensatoreinheit Rotor  
Dokumenten-Nr.: D0844192-0  
Rev. 0, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.63] ENERCON  
Rotorunterverteilung  
Dokumenten-Nr.: D0840424-0  
Rev. 0, Datum: 02.07.2019
  
- [1.1.64] ENERCON  
Unterverteilung Rotorsensorik  
Dokumenten-Nr.: D0840182-0  
Rev. 0, Datum: 24.06.2019
  
- [1.1.65] ENERCON  
Trafo Rotor  
Dokumenten-Nr.: D0808281-0  
Rev. 0, Datum: 07.06.2019
  
- [1.1.66] ENERCON  
Überdrehzahlschalterbox  
Dokumenten-Nr.: D0787934-1  
Rev. 1, Datum: 03.07.2019
  
- [1.1.67] ENERCON  
Blattregelschrank  
Dokumenten-Nr.: D08765436-0  
Rev. 0, Datum: 01.07.2019
  
- [1.1.68] ENERCON  
Blattrelaisschrank  
Dokumenten-Nr.: D0763164-0  
Rev. 0, Datum: 02.11.2018

- [1.1.69] ENERCON  
Überspannungsschutz Rotor  
Dokumenten-Nr.: D0717699-0a  
Rev. 0a, Datum: 19.06.2019
  
- [1.1.70] ENERCON  
Lastregelschrank  
Dokumenten-Nr.: D0609510-1  
Rev. 1, Datum: 29.06.2018
  
- [1.1.71] ENERCON  
Unterverteilung Statortemperaturfühler  
Dokumenten-Nr.: D0845466-0  
Rev. 0, Datum: 09.07.2019
  
- [1.1.72] ENERCON  
Unterverteilung Statortemperaturfühler  
Dokumenten-Nr.: D0842996-0  
Rev. 0, Datum: 08.07.2019
  
- [1.1.73] ENERCON  
Statorunterverteilung  
Dokumenten-Nr.: D0843187-0  
Rev. 0, Datum: 12.07.2019
  
- [1.1.74] ENERCON  
Schaltschrank el. Grundversorgung Gondel  
Dokumenten-Nr.: D0829101-0  
Rev. 0, Datum: 24.05.2019
  
- [1.1.75] ENERCON  
Gondelsteuerschrank  
Dokumenten-Nr.: D0820846-0  
Rev. 0, Datum: 19.06.2019
  
- [1.1.76] ENERCON  
Hauptverteilung Gondel  
Dokumenten-Nr.: D0804950-0  
Rev. 0, Datum: 05.07.2019
  
- [1.1.77] ENERCON  
Erregersteller  
Dokumenten-Nr.: D0791859-0  
Rev. 0, Datum: 08.02.2019

- [1.1.78] ENERCON  
Unterverteilung  
Dokumenten-Nr.: D0753082-0  
Rev. 0, Datum: 15.11.2018
  
- [1.1.79] ENERCON  
Fehlerstromüberwachung Generator  
Dokumenten-Nr.: D0743703-2a  
Rev. 2a, Datum: 05.07.2019
  
- [1.1.80] ENERCON  
Freischaltbox Blattheizung  
Dokumenten-Nr.: D0722985-1  
Rev. 0, Datum: 06.12.2018
  
- [1.1.81] ENERCON  
Unterverteilung Dachmodul  
Dokumenten-Nr.: D0665663-1  
Rev. 0, Datum: 06.09.2018
  
- [1.1.82] ENERCON  
Akkuschrank  
Dokumenten-Nr.: D0665360-0  
Rev. 0, Datum: 23.01.2018
  
- [1.1.83] ENERCON  
Stromschiene  
Dokumenten-Nr.: D0849265-0  
Rev. 0, Datum: 17.07.2019
  
- [1.1.84] ENERCON  
Elektrische Ausrüstung  
Dokumenten-Nr.: D0840479-0  
Rev. 0, Datum: 24.06.2019
  
- [1.1.85] ENERCON  
Schaltschrank el. Grundversorgung WEA  
Dokumenten-Nr.: D0840350-0  
Rev. 0, Datum: 24.06.2019
  
- [1.1.86] ENERCON  
USV Anlagensteuerung  
Dokumenten-Nr.: D0833460-0  
Rev. 0, Datum: 13.06.2019

- [1.1.87] ENERCON  
Netzfilterschrank  
Dokumenten-Nr.: D0825801-0  
Rev. 0, Datum: 16.05.2019
  
- [1.1.88] ENERCON  
Hauptverteilung WEA  
Dokumenten-Nr.: D0770900-1  
Rev. 1, Datum: 17.06.2019
  
- [1.1.89] ENERCON  
Steuerschrank Transformator  
Dokumenten-Nr.: D0757359-1  
Rev. 1, Datum: 04.02.2019
  
- [1.1.90] ENERCON  
Zählerschrank  
Dokumenten-Nr.: D0736809-0  
Rev. 0, Datum: 12.04.2019
  
- [1.1.91] ENERCON  
Versorgung Steuerschrank Transformator  
Dokumenten-Nr.: D0686326-1  
Rev. 1, Datum: 14.08.2018
  
- [1.1.92] ENERCON  
DC Ladeeinheit  
Dokumenten-Nr.: D0686074-1  
Rev. 1, Datum: 01.04.2019
  
- [1.1.93] ENERCON  
Übersichtsschaltplan Erdung E-138 EP3 E2 / E115 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D0845846-0a  
Rev. 0a, Datum: 02.07.2019

#### Transformator

- [1.1.94] ENERCON  
Specification Transformer 4,6MVA 630V KW M  
Dokumenten-Nr.: D0726692-4  
Rev. -, Datum: 20.06.2019
  
- [1.1.95] ENERCON  
Specification Transformer 5,0MVA 630V KW M  
Dokumenten-Nr.: D0747721-5  
Rev. -, Datum: 19.07.2019

- [1.1.96] ENERCON  
Type certification of distribution transformers  
Dokumenten-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001 ger-  
eng  
Rev. 1, Datum: 17.02.2014
  
- [1.1.97] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical data sheet HPNW 5000A  
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190719  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850658-1  
Rev. -, Datum: 19.07.2019
  
- [1.1.98] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical data sheet HPNW 5000A  
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190719  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850655-1  
Rev. -, Datum: 19.07.2019
  
- [1.1.99] Siemens AG Österreich  
Technical data sheet – ENERCON SAP XXXXX  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850158-1  
Rev. 00, Datum: 18.07.2019
  
- [1.1.100] SBG  
Technical specification VEY17265  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0848970-1  
Rev. -, Datum: 27.02.2019
  
- [1.1.101] SBG  
Technical specification VEY17266  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0848966-1  
Rev. -, Datum: 27.02.2019
  
- [1.1.102] Siemens AG Österreich  
Technical data sheet – ENERCON SAP XXXXX  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0927913-0  
Rev. 00, Datum: 05.02.2020
  
- [1.1.103] SBG  
Technical specification VEY17391  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0927915-0  
Rev. -, Datum: 04.02.2020
  
- [1.1.104] J. Schneider Elektrotechnik  
Technisches Datenblatt HBNW 5000A  
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190709  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0917413-0  
Rev. -, Datum: 09.07.2019

### Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.105] ENERCON  
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul  
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-SP026 MS-Schaltanlage Kurzversion-Rev000de\_de  
Rev. 0, Datum: 07.11.2017
  
- [1.1.106] Driescher  
Technical Data MINEX ABS® zero 12-24 kV  
Dokumenten-Nr.: E6697-A14Z ABS12-24; ENERCON Dokumenten-Nr.: D0708078-0  
Rev. -, Datum: 15.06.2016
  
- [1.1.107] Driescher  
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0751294-0  
Rev. -, Datum: 19.09.2018
  
- [1.1.108] Driescher  
Technical description ABS® zero  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0708521-0  
Rev. -, Datum: 19.09.2019 (empfangen)
  
- [1.1.109] Driescher  
Schaltplan MINEX-24KV A-L  
Dokumenten-Nr.: ES0178874  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0753508-0  
Rev. -, Datum: 05.09.2018
  
- [1.1.110] Driescher  
Typprüfung SF<sub>6</sub>-isolierte Mittelspannungs-Schaltanlage 36 kV/630 A  
Typ MINEX® ABSzero®  
Dokumenten-Nr.: A14Z SF6-Anlage ABS zero mit LS und Messfeld 36-630  
Typprüfung deutsch 11-19  
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)
  
- [1.1.111] Driescher  
Typprüfung SF<sub>6</sub>-isolierte Mittelspannungs-Schaltanlage 12-24 kV/630 A  
Typ MINEX® ABSzero®  
Dokumenten-Nr.: A14Z SF6-Anlage 12-24-630 MINEX ABSzero Typprüfung deutsch 11-19  
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

- [1.1.112] Driescher  
Bestätigung MINEX® ABSzero® (12-24 kV)  
Dokumenten-Nr.: Bestätigung MINEX ABS zero Typprüfung 07-15  
Rev. -, Datum: 07.11.2019
- [1.1.113] Driescher  
Bestätigung MINEX® ABSzero® (36 kV)  
Dokumenten-Nr.: Bestätigung MINEX ABS zero Typprüfung 07-15  
Rev. -, Datum: 07.11.2019

### EMV

- [1.1.114] ENERCON  
Prüfanforderungen EMV Erforderliche Prüfungen  
Dokumenten-Nr.: D0652486-4  
Rev. 4, Datum: 05.08.2019
- [1.1.115] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Rotorunterverteilung  
Dokumenten-Nr.: D0894800-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
- [1.1.116] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Lastregelschrank  
Dokumenten-Nr.: D0870494-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
- [1.1.117] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Gondelsteuerschrank  
Dokumenten-Nr.: D0869469-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
- [1.1.118] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Steuerschrank  
Dokumenten-Nr.: D0869004-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
- [1.1.119] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Montageplatte  
Dokumenten-Nr.: D0866196-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
- [1.1.120] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
Optoverteiler VAR  
Dokumenten-Nr.: D0866195-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.121] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
IE Client VAR  
Dokumenten-Nr.: D0866192-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.122] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
Versorgung intern VAR  
Dokumenten-Nr.: D0866191-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.123] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen  
Einspeisung 230V/400V VAR  
Dokumenten-Nr.: D0866190-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.124] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Leistungsschrank  
Dokumenten-Nr.: D0855915-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.125] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattregelschrank  
Dokumenten-Nr.: D0853523-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.126] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Schleifringübertrager  
Dokumenten-Nr.: D0853027-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.127] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Eisansatzerkennung  
Dokumenten-Nr.: D0851886-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.128] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Netzfilterschrank  
Dokumenten-Nr.: D0849903-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019
  
- [1.1.129] ENERCON  
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattrelaisschrank  
Dokumenten-Nr.: D0848587-0  
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

## **1.2 Zugehörige Dokumente**

- [1.2.1] ENERCON  
Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2  
Dokumenten-Nr.: D0765798-1a  
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019
- [1.2.2] ENERCON  
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen  
Dokumenten-Nr.: D0666243-3  
Rev. 3, Datum: 30.08.2018
- [1.2.3] ENERCON  
Safety Concept / Safety Requirement Specification  
ENERCON Windenergieanlagen E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D0830549-0a  
Rev. 0a, Datum: 02.08.2019
- [1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH  
Evaluation Report ENERCON E-138 EP3 E2  
Electrical Equipment and Lightning Protection  
Report No.: 8117 142 915 – 5 E, Rev. 1, Datum: 23.03.2020
- [1.2.5] ENERCON  
Technische Beschreibung - ENERCON Windenergieanlagen  
Option Cold Climate  
Dokumenten-Nr.: D0160496-3  
Rev. 3, Datum: 2014-04-23
- [1.2.6] ENERCON  
Stellungnahme – Offene Punkte Elektrik  
Dokumenten-Nr.: D0933870-0  
Rev. 0, Datum: 2020-03-04

## **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-, Mittel-leis-  
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 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 und der IEC 61400-1 / DIN EN 61400-1 als Prüfgrundlage definiert. Die Windenergieanlagen (WEA) ENERCON E-138 EP3 E2 wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-22 und IEC 61400-1 überprüft [1.2.4].

## 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	Max. Nennleistung	Turm / Hubhöhe	Rotordurchmesser / Blatt	Klimabedingung
1	E-138 EP3 E2	50/60 Hz	4.2 MW	Stahl oder Hybrid / 81, 111, 131, 149 oder 160 m	138.25 m / E-138 EP3-RB-02	STW / CCV <sup>1</sup>

Table 4-1: WEA Konfiguration

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:

Temperaturversion:	Betriebstemperatur:	Auslegungstemperatur:
Standard Weather Edition (STW)	-10 °C bis 40 °C	-20 °C bis 50 °C
Cold Climate Version (CCV)	-40 °C bis 50 °C <sup>2</sup>	-40 °C bis 50 °C

Table 4-2: Temperaturversionen

<sup>1</sup> STW: Standard Weather Edition, CCV: Cold Climate Version

<sup>2</sup> Leistungsreduktion für Temperaturen unter -30 °C.

### 4.3 Eigenschaften Elektrische Komponenten

- **Generator**

Hersteller:	ENERCON
Typ:	synchron
Bezeichnung:	E-138 EP3 E2-GE-01
WEA Variante:	1
Scheinleistungsbereich:	0 – 5500 kVA
Nennleistung:	4675 kW
Spannung:	4 x 2Y x 780 V AC
Strom:	600 A
Drehzahl:	0 – 11,7 min <sup>-1</sup> (10,5 min <sup>-1</sup> )
Frequenz:	0 – 11,1 Hz (11,1 Hz)
Isolationsklasse:	F
Anzahl Pole:	57
Schutzart:	IP23
Kühlungsart:	IC3A6
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 20 °C <sup>3</sup>

- **Umrichter**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	Leistungsschrank - B2B V2
Artikelnummer:	676555 (716670, 737832)
WEA Variante:	1
Leistung (netzseitig):	365 kVA
Nennspannung (netzseitig):	630 V AC
Nennstrom (netzseitig):	335 A
Nennspannung (maschinenseitig):	740 V AC
Nennstrom (maschinenseitig):	335 A

---

<sup>3</sup> Steigt die Umgebungstemperatur über 20 °C, greift ggf. die thermische Regelung des Generators. Dabei wird der Generator temperaturgeregt weiterbetrieben, was zu einer Leistungsreduktion führen kann.

Überspannungskategorie:	III
Frequenz:	50/60 Hz $\pm$ 7 Hz
Schutzart:	IP01 (IP21 installiert)
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 50 °C <sup>4</sup>

- **Pitchsystem**  
**Motor**

Hersteller:	Emod
Typ:	Gleichstrommotor
Bezeichnung:	GKFB160L/4-220
WEA Variante:	1
Nennleistung:	8,8 kW (Nebenschluss)
Ankerspannung:	150 V DC
Nennspannung Erregung:	110 - 130 V DC
Nennstrom:	65 A
Erregerstrom:	2,1 A
Drehzahl:	1830 min <sup>-1</sup>
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	IP55
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 60 °C

**Energiespeicher:**

Typ:	Ultrakondensatoren
Hersteller:	LS Mtron
Bezeichnung:	LSUC 002R7C 3000F EA LT02 EN
WEA Variante:	1
Anzahl / Blatt:	4 Module <sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Betrieb bis -40 °C mit reduzierter Leistung.

<sup>5</sup> Die Ultrakondensatoren werden vom Hersteller in Modulen installiert (Modul 94 F, 75 V).

Nennspannung (DC): 2,7 V (Kondensator) / 75 V (Modulspannung)

Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis 65 °C

**Azimut Motor:**

Hersteller: Getriebebau NORD

Typ: 3~ A.C. Bremsmotor

Bezeichnung: SK112MH/4 BRE60 PT1000

WEA Variante: 1

Nennleistung: 4,0 kW

Nennspannung: 400/690 V

Nennstrom: 8,02/4,63 A

Drehzahl: 1440 min<sup>-1</sup>

Frequenz: 50 Hz<sup>6</sup>

Isolationsklasse: F

Schutzart: IP66

Einbauart: B5

Max. Installationshöhe: 1000 m

Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis 50 °C

**Azimutumrichter:**

Hersteller: Getriebebau NORD  
(Drivesystem NORD)

Bezeichnung: SK 200E-551-340-A-C

WEA Variante: 1

Nennleistung (Ausgang): 5,5 kW

Nennspannung (Eingang): 3~ 380 – 500 V AC

Nennspannung (Ausgang): 0 – Eingangsspannung  
0 – 400 Hz

Nennstrom (Eingang): 11,7 A

---

<sup>6</sup> Der Motor wird über einen Frequenzumrichter betrieben. Deshalb kann der Motor auch für die 60 Hz Variante eingesetzt werden.

Nennstrom (Ausgang):	12,5 A
Frequenz (Eingang):	47 – 63 Hz
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 40 °C

- **Schleifring**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1
WEA Variante:	1
Anzahl Schleifringe:	22 + FORJ
Drehzahl:	10,8 min <sup>-1</sup>
Schutzart:	IP53
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 70 °C

- **Transformator**

Hersteller:	J. Schneider Elektrotechnik	SBG	SBG
Bezeichnung:	HPNW 4500A- 1802T10001	DST 5000 H/20	DST 5000 H/30
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz <sup>7</sup>	50 Hz <sup>7</sup>	50 Hz <sup>7</sup>
Nennleistung:	4500 kVA	5000 kVA	5000 kVA
Nennspannung (HV):	20000 V	20000 V	30000 V
Nennspannung (LV):	400 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+2,5/5/7,5/10 %	+4x2.5 %	+4x2.5 %
Kühlung:	KFAF	KFWF	KFWF
Schutzart:	IP00	IP54	IP54

---

<sup>7</sup> Der Transformator muss projektspezifisch angepasst werden. Wir haben keine Einwände, die aufgeführten Transformatoren in 60 Hz Varianten zu installieren.

Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C
Weitere Transformatoren			
Hersteller:	Siemens	J. Schneider Elektrotechnik	J. Schneider Elektrotechnik
Bezeichnung:	TDU- 503A02W5N-99	HPNW 5000A-	HPNW 5000A-
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz <sup>7</sup>	50 Hz <sup>7</sup>	50 Hz <sup>7</sup>
Nennleistung:	5000 kVA	5000 kVA	5000 kVA
Nennspannung (HV):	20000 V	20000 V	30000 V
Nennspannung (LV):	630 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+4x2,5 %	+4x2,5 %	+4x2,5 %
Kühlung:	KFWF	KFWF	KFWF
Schutzart:		IP00	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C
Weitere Transformatoren			
Hersteller:	SBG	J. Schneider Elektrotechnik	Siemens
Bezeichnung:	DST 4600 H/30	HBNW 5000A	TDU- 503A02W5H- TU
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz	60 Hz <sup>8</sup>	50 Hz <sup>7</sup>
Nennleistung:	4600 kVA	5000 kVA	4600 kVA

<sup>8</sup> Der Transformator muss projektspezifisch angepasst werden. Wir haben keine Einwände, die aufgeführten Transformatoren in 50 Hz Varianten zu installieren.

Nennspannung (HV):	34500 V	34500 V	34500 V
Nennspannung (LV):	630 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	±2x5 %	±2x2,5 %	±2x5 %
Kühlung:	KFWF	KFWF	KFWF
Schutzart:	IP00 <sup>9</sup>	-	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-40 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C
Max. Installationshöhe:	2000 m	1000 m	2000 m

- **Mittelspannungsschaltanlage**

Hersteller:	Driescher
Bezeichnung:	Minex ABS® zero 12-24 kV
WEA Variante:	1
Frequenz:	50/60 Hz
Nennspannung:	12 kV   17,5 kV   24 kV
Nennstrom (Kabelabgang):	630 A
Nennstrom (Leistungsschalter):	630 A
Schutzart:	Tank IP67 <sup>10</sup>
Isolationsmedium:	SF <sub>6</sub>
Störlichtbogenklassifikation:	IAC AFLR 20kA 1s
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 60 °C

- **Blitzschutz**

Gefährdungspegel:	LPL I
-------------------	-------

<sup>9</sup> Schutzart der Durchführungen

<sup>10</sup> Schaltgehäuse IP67, Frontabdeckung IP2X, Kabelfeld IP3X

## **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.

### **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 durch einen Fachmann zu bestätigen.
- 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 E2 [1.1.1] liegt nur im Entwurf vor.
- 5.2.7 Bei Installationen der E-138 EP3 E2 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

Die E-138 EP3 E2 wird mit dem Generator E-138 EP3 E2-GE-01 des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Alle relevanten Daten zum Design werden in den Unterlagen [1.1.2] - [1.1.7] korrekt aufgeführt. Bei der Generatorfertigung werden schon einige Prüfungen durchgeführt. Die Messung des thermischen Verhaltens wird in der Prototyp WEA durchgeführt. Die E-138 EP3 E2 wurde noch nicht errichtet. Dementsprechend konnten die Prüfungen noch nicht durchgeführt werden. Bei ähnlichen Generatortypen lag die thermische Stabilität bei den Prüfungen des Generators deutlich unter den maximalen Auslegungstemperaturen [1.2.6]. Aufgrund der großen Erfahrung von ENERCON mit ähnlichen Generatortypen haben wir keine Einwände gegen den fehlenden Generatortest. Die abschließenden Prüfergebnisse der Generatorprüfungen sind noch einzureichen [6.1].

Der Generator E-138 EP3 E2-GE-01 ist entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 [2.4] geplant.

- Umrichter

DIE WEA E-138 EP3 E2 ist mit 14 4-Q-Umrichtern, Bezeichnung Leistungsschrank - B2B V2 [1.1.8] - [1.1.14], ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON gemäß den Anforderungen der IEC 62477-1 entwickelt und konstruiert. ENERCON hat den Leistungsschrank zunächst nach den Anforderungen vom DNVGL-ST-0076 getestet. Dieser Standard umfasst auch die wichtigsten Prüfungen der IEC 62477-1. Allerdings sind die Prüfungen der IEC 62477-1 nicht komplett im DNVGL-ST-0076 erfasst. Deshalb sind die fehlenden Prüfungen der IEC 62477-1 noch durchzuführen. Der Typentest des B2B V2 wurde noch nicht durchgeführt. Der B2B V2 ist eine Weiterentwicklung des Vorgängermodells B2B V1 mit einer ähnlichen Konstruktion. Für den B2B V1 wurden die Tests erfolgreich durchgeführt [1.1.15] - [1.1.27]. ENERCON erwartet, dass sich das thermische und elektrische Verhalten der beiden Umrichter nicht wesentlich unterscheidet. Eine Prüfung zum Nachweis der Erfüllung der EMV-Anforderungen wurde noch nicht durchgeführt. Allerdings hat ENERCON eine EMV-Risikoanalyse durchgeführt. Wir haben keine Einwände gegen die fehlenden Testberichte. Diese sind nach Durchführung der Prüfungen der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.2].

- Pitch System

Jedes Rotorblatt ist mit einem DC Motor ausgerüstet. Der Motor wird über einen DC-Umrichter gesteuert. In besonderen Fällen kann der Motor direkt über die Notstromversorgung der Ultrakondensatoren versorgt werden. Der im Kapitel 4 aufgeführte Motor wird entsprechend der IEC 60034-1 konstruiert und getestet [1.1.48] - [1.1.54].

- Azimutantrieb

Die E-138 EP3 E2 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.42]. 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 [1.1.43] - [1.1.47].

- Schleifring

Die WEA E-138 EP3 E2 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem, Bezeichnung EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1 [1.1.40], [1.1.41], ausgerüstet. Der im Kapitel 4 aufgeführte Schleifring wird von ENERCON entsprechend den Umgebungsbedingungen im Hub ausgelegt.

- Transformator

Der Transformator ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. In den WEA E-138 EP3 E2 werden flüssigkeitsgefüllte (synthetisches Ester) Transformatoren eingesetzt. Die Anforderungen, wie Schutz gegen Kurzschluss, Temperatur, Drucküberwachung oder Füllstandsüberwachung werden in den ENERCON eigenen Spezifikationen [1.1.94] und [1.1.95] gefordert. Des Weiteren sind in [1.1.96] die erforderlichen Prüfungen und Test beschrieben.

Die Transformatoren werden abhängig von den projektspezifischen 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 erfüllen aber auch die relevanten Teile der IEC 60076.

Für die in Kapitel 4.3 aufgeführten Transformatoren fehlen noch einige technische Daten. Des Weiteren fehlen noch einige Unterlagen und verschiedene Dokumente sind nur als Entwurf eingereicht worden. ENERCON sollte die fehlenden Unterlagen von den Transformatorherstellern einreichen.

Es ist von ENERCON eine Liste der eingesetzten Transformatoren zu übermitteln.

- Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. Die Schaltanlage wird, wie schon oben bei den Transformatoren beschrieben, abhängig von den projektspezifischen 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 [1.1.105] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie zum anderen die relevanten Teile der IEC 62271 erfüllen.

Es ist von ENERCON eine Liste der eingesetzten Mittelspannungsschaltanlagen zu übermitteln.

- Schaltpläne

Die Schaltpläne [1.1.60] - [1.1.93] 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.

Die Konformitätserklärung (CE) [1.1.1] für die E-138 EP3 E2 umfasst alle von ENERCON entwickelten und hergestellten elektrischen Komponenten.

### 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).

Die Kapazitätsberechnungen für den Anforderungsfall sind in [1.1.48] ausreichend aufgeführt. Die Spannung der Kondensatoren wird permanent überwacht. Die Ladung der Module erfolgt durch das im Blattregelschrank installierte „capacitor-charging module“. Dieses Modul wird von ENERCON entwickelt.

Das Back-up Spannungsversorgungssystem erfüllt die Anforderungen der IEC 61400-1.

### 5.3.3 Elektrische Leiter

Die E-138 EP3 E2 wird mit 14 Umrichtern ausgerüstet. Daher werden zwischen Generator und Umrichter 14\*3 Leistungskabel installiert. Im Bereich Kabelloop werden Kupferkabel, z. B. WINDFLEX GLOBAL EMC (S-3GDShOEu) von Prysmian [1.1.58] mit einem Querschnitt von 1x240 mm<sup>2</sup>, und im Turm Aluminiumkabel, z. B. PROTOTHEN-X (N)A2XSY von Prysmian [1.1.57] mit einem Querschnitt von 1x240 mm<sup>2</sup>, verwendet. Die Berechnung der Stromtragfähigkeit ist ausreichend in [1.1.56] dargestellt.

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 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. Außerdem ist für WEA die IEC 61400-24 zu beachten.

Das Blitzschutzsystem der ENERCON WEA E-138 EP3 E2 ist für den Gefährdungspegel LPL I ausgelegt [1.1.28]. 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 E2 ist in [1.1.93] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.39] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in den Zeichnungen [1.1.29] und [1.1.30] dargestellt. Zur Erfüllung der Anforderungen der Erdungsanlagen sind insbesondere im Rahmen der DIBt neben den IEC Anforderungen auch die Forderungen der DIN 50522 sowie DIN 18014 zur Planung und Ausführung von Erdungsanlagen zu berücksichtigen [5.2.3]. Die Erdungsanlage kann projektspezifisch auf die vorhandenen Erdungsbedingungen angepasst werden.

Die E-138 EP3 E2 wird mit E-138 EP3-RB-02 Rotorblättern des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Das Design des Blattes sowie auch des Blitzschutzsystems ist ähnlich dem Blatt E-103 EP2-RB-01 [1.1.31]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems des Blattes E-103 EP2-RB-01 wurde entsprechenden den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV Süd geprüft [1.1.32]. ENERCON definiert eine erhöhte Anforderung LPL I+ (Spitzenstrom 300 kA, Ladung der Kurzentladung bis 150 C) für das Blitzschutzsystem der Rotorblätter. Diese Anforderung wurde ebenfalls vom TÜV Süd für das Rotorblatt E-103 EP2-RB-01 bestätigt. Die Betrachtung zur Ähnlichkeit der beiden vorgenannten Blätter beschreibt auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse zum Blitzschutzsystem vom Blatt E-103 EP2-RB-01 auf das Blatt E-138 EP3-RB-02. Des Weiteren ist das Blitzschutzsystem des Blattes E-138 EP3-RB-02 in den Zeichnungen [1.1.33] - [1.1.38] dargestellt.

Die Anforderungen der IEC 61400-1 werden vom Blitzschutzsystem der WEA E-138 EP3 E2 erfüllt.

### 5.3.6 Selbsterregung

Die E-138 EP3 E2 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 ausgestattet. Dieses ermöglicht 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 aktuellen Zeitpunkt nicht möglich, da der Prototyp der Anlagen noch nicht final errichtet ist.

Messungen zu Netzverträglichkeit entsprechend der IEC 61400-21 und den relevanten EMV-Standards werden am Prototyp der E-138 EP3 E2 durchgeführt.

Die Prüfprotokolle der EMV-Messungen sind dem TÜV NORD nach erfolgter Messung zu übersenden.

Die durchzuführenden EMV-Messungen sind im Dokument [1.1.114] aufgeführt. Diese Prüfungen sind noch nicht erfolgt. ENERCON hat Risikobeurteilungen nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU für die relevanten Komponenten durchgeführt [1.1.115] - [1.1.129]. Aufgrund der Risikobeurteilungen haben wir keine Einwände gegen die fehlenden EMV-Messberichte.

### 5.3.8 Kalt-Wetter-Ausführung

Die E-138 EP3 E2 kann auch als Kalt-Wetter-Ausführung (CCV) ausgerüstet werden. Die Anpassungen für diese Variante sind in [1.2.2] beschrieben. Einige Komponenten sind nicht für den gesamten Kalt-Wetter-Temperaturbereich ausgelegt. Die Aufheizstrategie ist im Dokument [1.2.5] beschrieben.

## 5.4 Schnittstellen

Die Sicherheitskette ist in Dokument [1.2.3] beschrieben. Die Sensoren und Aktoren der Sicherheitskette sind in den WEA Schaltplänen korrekt dargestellt.

## 6 Auflagen

- 6.1 Die Prüfberichte für den Generator E-138 EP3 E2-GE-01 sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen.
- 6.2 Die Testberichte für den Leistungsschrank - B2B V2 sind der Zertifizierungsstelle zu übermitteln. Weiterhin sollte ein Nachweis der Erfüllung der EMV-Anforderungen für den Leistungsschrank eingereicht werden.

## 7 Schlussfolgerung

Das elektrische System der E-138 EP3 E2 - die zugehörigen Anlagen sind im Detail unter Kapitel 4.1 aufgelistet - erfüllt die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit auch die Anforderungen der DIBt.

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:



M. Sc. Holger Grafe

Freigabe:



Dr. Ralf Kotte

## Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen

- Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 -

<b>TÜV NORD Bericht-Nr.:</b>	8117 142 915 - 3 D, Rev. 1
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Konstruktion und statischer Blatttest für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02. Mit Lasten nach DIBt (2012)
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Hinweis:</b>	Die Lasten der Konfigurationen 1 und 5 sind aktuell nicht geprüft!

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	26.11.2019	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Passow
1	16.12.2019	Anlagenkonfiguration 8 hinzugefügt, Dokumente hinzugefügt: [1.2.3], [1.2.4]; Dokument aktualisiert: [1.2.2]; Kapitel aktualisiert: 3, 4.2, 4.3 und 5.3	Dipl.-Ing. M. Passow

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einleitung .....	6
4	Beschreibung der Komponente .....	7
4.1	Klimatische Bedingungen.....	7
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	7
4.3	Designlasten .....	8
4.4	Materialien.....	9
5	Durchgeführte Prüfung.....	9
5.1	Prüfmethode.....	9
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Ergebnisse .....	10
5.4	Schnittstellen .....	10
6	Auflagen.....	10
7	Schlussfolgerung .....	12

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] "Nachweis zur Zertifizierung, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit, für Lasten nach: IEC 3: WK IIIa, WK S, DiBt 2012: WZ 2, GK II"  
Dokument-Nr.: D0846761-0, Rev. 0, Datum: 09.08.2019
- [1.1.2] "Nachweis Rotorblatt, Anhang: Sicherheitsparameter & Berechnungsformeln"  
Dokument-Nr.: D0169858-1a, Rev. 1a, Datum: 20.12.2017
- [1.1.3] "Nachweis zur Zertifizierung, Verbindung Blattanschluss E-138 EP3-RB-02 der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit, für Lasten nach: IEC 3: WK IIIa, WK S, DiBt 2012: WZ 2, GK II"  
Dokument-Nr.: D0846528-0, Rev. 0, Datum: 22.08.2019

#### Zeichnungen

- [1.1.4] "Rotorblatt, Maßblatt"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.110.10000, Rev. 00, Datum: 01.07.2019
- [1.1.5] Hauptzeichnung, "Rotorblatt, Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.110.10001, Rev. 00, Datum: 22.07.2019
- [1.1.6] "Blattanschluss, Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.180.10001, Rev. 04, Datum: 29.05.2019
- [1.1.7] "Blattanschluss, Dehnbolzen DIN976 M42-6g 503x35"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.180.10002, Rev. 00, Datum: 25.04.2019
- [1.1.8] "Vortexgenerator, Variante A R02.01"  
Zeichnungs-Nr.: R92.230.027, Rev. 01, Datum: 08.07.2016
- [1.1.9] "Hinterkantenkamm, Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10003, Rev. 00, Datum: 05.04.2018
- [1.1.10] "Blattspitze, Zusätzliche Befestigung"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10000, Rev. 1, Datum: 27.05.2019

#### Liste eingereichter Unterlagen

- [1.1.11] "Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 Unterlagen zur Zertifizierung"  
Dokument-Nr.: D0852805-7, Rev. 7, übersendet: 15.11.2019

## Materialtests und Spezifikationen

- [1.1.12] "Spezifikation, Materialkennwerte für die Rotorblattauslegung  
E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0815252-2, Rev. 2, Datum: 30.10.2019

## Handbücher und Spezifikationen

- [1.1.13] "Spezifikation, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0838021-0a, Rev. 0a, Datum: 16.07.2019
- [1.1.14] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante  
Mindestwerte für Rotorblätter allgemein"  
Dokument-Nr.: D0223764-3, Rev. 3, Datum: 06.05.2019
- [1.1.15] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante  
Mindestwerte für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 "  
Dokument-Nr.: D0747740-0a, Rev. 0a, Datum: 21.05.2019
- [1.1.16] "Spezifikation, Aerodynamisch und aero-akustisch bedingte  
Fertigungstoleranzen für Rotorblätter"  
Dokument-Nr.: D0701822-1, Rev. 1, Datum: 19.03.2019
- [1.1.17] "Spezifikation, Aerodynamisch bedingte Fertigungstoleranzen für das Rotorblatt  
E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0812261-0, Rev. 0, Datum: 20.05.2019

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Auslegungslasten

- [1.2.1] "Lastenbericht, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Abdeckende Lasten für das  
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 E2 nach DIBt  
und IEC"  
Dokument-Nr.: D0834228-0b, Rev. 0b, Datum: 30.07.2019
- [1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt  
und Maschinenbau -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-1 D VI, Rev. 1, Datum: 11.12.2019
- [1.2.3] Stellungnahme für den Vergleich der Turmeigenfrequenzen zwischen E-138 EP3  
E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, "Stellungnahme  
Abteilung Lastensimulation, Frequenzvergleich "  
Dokument-Nr.: D0871819-1a, Rev. 1a, Datum: 07.11.2019

- [1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und  
E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, "Gutachtliche Stellungnahme  
Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 149 m  
(E-138 E2-HT-149-ES-C-01 und E- 138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02), DIBt WZ 2,  
GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament - "  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-1 D II, Rev. 1, Datum: 11.12.2019

#### Design Basis

- [1.2.5] "Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr.: D0765798-1a, Rev. 1a, Datum: 12.09.2019
- [1.2.6] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report, Wind Turbine Platform ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE  
OD 501, IEC 61400-22 - Design Basis -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-0 E, Rev.0, Datum: 12.09.2019

#### Statischer Rotorblatttest

- [1.2.7] "Spezifikation statische und dynamische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0842787-2, Rev. 2, Datum: 15.11.2019
- [1.2.8] "Auswertung - Statische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0889232-0, Rev. 0, Datum: 15.11.2019
- [1.2.9] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report Full-scale rotor blade tests -Rotor Blade E-138 EP3-RB-02-"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-3t E, Rev. 0, Datum: 25.11.2019

#### Zeichnungen

- [1.2.10] IMO GmbH & Co. Kg:  
Blattlagerzeichnung, "12874 Rollen-DV, 3-reihig"  
Zeichnungs-Nr.: 32-362998/4-12874, Rev. A, Datum: 18.09.2019  
Enercon-Dokument-Nr.: D0733727-4, Rev. 4, Datum: 18.09.2019
- [1.2.11] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Blattlagerzeichnung, "Rollendrehverbindung"  
Zeichnungs-Nr.: ROD02994-032DJ18-001-000, Rev. 3.2, Datum: 22.07.2019  
Enercon-Dokument-Nr.: D0812815-3, Rev. 3, Datum: 22.07.2019

## 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, 2010-05
- [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-02 für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2 nach DIBt 2012 Standard mit Anlehnung an IEC 61400-22 in Kombination mit IEC 61400-1 (ed.3, 2005 und Amendment 2010).

In der aktuell vorliegenden Revision 8 der Gutachtlichen Stellungnahme wurde die Anlagenkonfiguration 8 hinzugefügt.

## 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 glasfaserverstärktem Epoxy Kunststoff, der als Sandwich Konstruktion realisiert wird. Der Holmgurt besteht aus glasfaserverstärktem Epoxidmaterial. Für das Kernmaterial wird Balsaholz und PET-Schaum verwendet. Zusätzlich verfügt das Rotorblatt über zwei Hauptstege, die zusammen mit den UD Glasfaser-Gurten der oberen und unteren Schale einen Kastenträger ergeben. Das Rotorblatt wird mit Hilfe des Vakuum-Infusionsverfahren produziert. Für die Herstellung der Preformteile der Blattwurzel sind die beiden verschiedenen Varianten, gewickelt oder gelegt, abgedeckt.

Die Verbindung vom Rotorblattfuß zum Rotorblattflansch erfolgt über 59 T-Bolzen. Jeder T-Bolzen ist mit einem M42-Dehnbolzen vorgespannt.

Die folgenden Varianten des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02 wurden bewertet. Die Ausstattung der verschiedenen Varianten ist nachfolgend dargestellt:

RB Nr.	Vortexgenerator (VGs)	Hinterkantenkamm (Serration)	Blattspitze	Blattbolzen
1	[1.1.8]	[1.1.9]	[1.1.10]	[1.1.7]

Tabelle 4-1: Geprüfte Rotorblattvarianten

Nach [1.1.1] und [1.1.15] hat das Rotorblatt die folgenden Eigenschaften:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:	0,509 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung:	0,793 Hz
Blattlänge:	67,5 m
Blattmasse: (inkl. Bolzen, ohne Heizung)	20010 kg ± 3,5%
(inkl. Bolzen, mit Heizung)	20280 kg ± 3,5%
Schwerpunkt: (Nabenmitte, ohne Heizung)	20,98 m
(Nabenmitte, mit Heizung)	20,78 m
Statisches Moment: (Nabenmitte, ohne Heizung)	419 710 kgm ±3.5%
(Nabenmitte, mit Heizung)	421 420 kgm ±3.5%

Das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 ist für den Betrieb an verschiedenen Konfigurationen vorgesehen:

Nr.	WEA	Geprüfte Blattvariante	Windklasse	Gelände- klasse	Geprüft mit
1	E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	Struktur- nachweis [1.1.1] und [1.1.3]
2	E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
3	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
4	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
5	E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
6	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
7	E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
8	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	[1.2.3]

Table 4-2: Abgedeckte Konfigurationen

### 4.3 Designlasten

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

Die Lastannahmen sind in nach der folgenden Tabelle spezifiziert:

Nr.	WEA	Frequenz	Nenn- leistung	Nabhöhe	Spezifiziert in	Geprüft in
1	E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	81 m	[1.2.1]	Nicht geprüft
2	E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	111 m		[1.2.2]
3	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	131 m		Nicht geprüft
4	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02	50 / 60 Hz	4,2 MW	131 m		
5	E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	131 m		[1.2.2]
6	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	149 m		[1.2.4]
7	E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	160 m		
8	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02	50 / 60 Hz	4,2 MW	149 m	[1.2.3]	[1.2.4]

Table 4-3: Lastannahmen

In den Lastannahmen wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

- 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0,511 Hz
- 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung 0,817 Hz
- Blattmasse: 20257 kg (inkl. Schrauben)
- Schwerpunkt (Blattwurzel): 19,32 m
- Statisches Moment (Blattwurzel): 391410 kgm

Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 25 Jahren. Die speziellen Annahmen für die Lastberechnung für die verschiedenen Konfigurationen können den entsprechenden Prüfberichten entnommen werden.

Sonderereignisse, verursacht durch den Transport, Montage und Errichtung, sind nicht berücksichtigt worden.

#### **4.4 Materialien**

Das Rotorblatt wurde mit Materialannahmen für das Laminat, den Kernwerkstoff und den Kleber nach [1.1.12] nachgewiesen. Die metallischen Komponenten der Blattfußverbindung sind in [1.1.3] definiert.

## **5 Durchgeführte Prüfung**

### **5.1 Prüfmethode**

Die Design Basis [1.2.3] wurde in [1.2.4] nach IEC 61400-22 [2.1] 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 [1.1.17] wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität auf Basis der Anforderungen gemäß [2.1] und [2.2] geprüft.

Die Restsicherheitsfaktoren werden nicht bestätigt.

Für die Bewertung des Rotorblattes wurde ein eigenständiges Finite-Elemente-Modell aufbauend auf den Zeichnungen und Materialdaten, gemäß [1.1.4] und [1.1.5] sowie den in [1.1.11] referenzierten Dokumenten, erstellt, mit dessen Hilfe die Festigkeit des Rotorblattes nachgewiesen wurde.

Für den Nachweis des Blattanschlusses wurde ein separates Finite-Elemente-Modell erzeugt, basierend auf der Zeichnung [1.1.6]. Die Annahmen zum Blattlager können [1.2.8] und [1.2.9] entnommen werden.

Die Rotorblattschale inklusive Verschraubung zum Blattlager wurden ursprünglich mit Auslegungslasten nach [1.2.1] nachgewiesen. Die Nachweise wurden für die maßgebenden Lastfälle geführt.

Die Auswertung umfasst die strukturelle Analyse des Hinterkantenkammes und der Vortexgeneratoren nach [1.1.1].

Das Rotorblattheizsystem (siehe [1.1.11]) wurde auf Plausibilität geprüft.

Um die Ergebnisse der Festigkeitsrechnung abzugleichen wurde ein statischer Blatttest, entsprechend [1.2.5] und [1.2.6], durchgeführt.

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

## 5.2 Anmerkungen

Der extreme Temperaturbereich nach Kapitel 4.1 wurde für die Bewertung der Materialeigenschaften [1.1.12] herangezogen.

Gemäß der Gutachtlichen Stellungnahme Lasten [1.2.2] umfassen die Lastannahmen aerodynamische Anbauten wie Vortexgeneratoren, Hinterkantenkamm und Blattspitze.

Von den in [1.1.11] aufgeführten Dokumenten wurden nur die strukturelevanten Dokumente geprüft und somit nur deren Gültigkeit bestätigt.

## 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 zeigt gute Ergebnisse.

Der statische Blatttest nach [1.2.5], geprüft in [1.2.7] nach IEC 61400-23 [2.5], erfüllt somit auch die Anforderungen nach GL 2010 [2.6].

Alle Nachweise und Ergebnisse entsprechen den Anforderungen nach [2.1].

### Revision 1

Auf Grund der Stellungnahme [1.2.3], geprüft in [1.2.4], sind keine weiteren Betrachtungen für das Rotorblatt durchzuführen. Somit behalten alle getroffenen Aussagen ihre Gültigkeit auch für die Anlagenkonfiguration 8.

## 5.4 Schnittstellen

Die folgenden Schnittstellen sollen betrachtet werden:

Für den Maschinenbau und die Betriebshandbücher:

[5.4.1] Eine Vorspannung von Minimum 658,3 kN und Maximum 790 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 4.2 angegebenen Werten abweichen.

- 6.2 Die Materialdaten aus [1.1.12] sind durch Materialprüfungen oder Zulassungen zu bewerten. Der angesetzte Temperaturbereich muss bei der Prüfung berücksichtigt werden. Materialwerte (z.B. E-Module) dürfen nicht niedriger sein oder mehr als 10% von den angegebenen Werten abweichen. Für die Herstellung der Laminat sind die aufgeführten Rohmaterialien und Laminierverfahren zu verwenden. Die Rohmaterialien müssen den Anforderungen der GL-Richtlinie [2.6] entsprechen.
- 6.3 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach [2.6] erfüllt.
- 6.4 Um die Kriechverformung des GFK-Anteils in der vorgespannten Verbindung an der Blattwurzel zu berücksichtigen, muss die Vorspannung der Bolzenverbindung nach 4 Wochen bzw. 300 Betriebsstunden (der kürzere der beiden Zeiträume ist maßgebend) überprüft werden.
- 6.5 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.
- 6.6 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-02 an der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 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 "Malte Polster".

Dipl.-Ing. M. Polster

## Gutachtliche Stellungnahme

### für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 E2

#### - Maschinenbauliche Komponenten -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8117 142 915-4 D Rev. 1

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: ENERCON E-138 EP3 E2  
Varianten: siehe Tab. 4.2  
Anlagenparameter: siehe Tab. 4.2

**Standortspezifikation:** Windzone: siehe Tab. 4.2  
Geländekategorie: 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 20 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	25.11.2019	- Erstausgabe	F. Rodriguez
1	12.12.2019	- Anlagevariante 6 hinzugefügt	F. Rodriguez

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	4
1.1	Geprüfte Dokumente .....	4
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	8
1.3	Lastannahmen .....	10
1.4	Zugehörige Prüfberichte .....	11
1.5	Hauptzeichnungen .....	11
2	Prüfgrundlagen .....	11
3	Einleitung .....	11
4	Beschreibung der Windenergieanlage .....	12
4.1	Anlagenkonzept .....	12
4.2	Umgebungsbedingungen .....	12
4.3	Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen .....	12
4.3.1	Blattlager .....	12
4.3.2	Blattverstellgetriebe .....	13
4.3.3	Blattarretierung .....	13
4.3.4	Rotornabe .....	13
4.3.5	Hauptlagerung .....	14
4.3.6	Rotorträger .....	14
4.3.7	Achszapfen .....	15
4.3.8	Achsdeckel .....	15
4.3.9	Rotorarretierung .....	15
4.3.10	Rotorbremse .....	15
4.3.11	Maschinenträger .....	16
4.3.12	Generatorstator .....	16
4.3.13	Generatorrotor .....	16
4.3.14	Azimetgetriebe .....	16
4.3.15	Azimetlager .....	17
4.3.16	Hydrauliksystem .....	17
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen .....	17
5	Durchgeführte Prüfungen .....	18
5.1	Prüfmethoden .....	18
5.2	Mechanische Komponenten und Antriebe .....	18
5.3	Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen .....	19

5.4	Hinweise und Annahmen .....	19
5.5	Prüfergebnis .....	19
5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm .....	19
6	Bedingungen.....	20
7	Schlussfolgerungen .....	20

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Blattlager

[1.1.1] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Prüfunterlagen Blatt Drehverbindung 12889944  
Dokument Nr.: p02994-032DJ18-001\_Enercon\_PiB\_E138EP3E2\_  
Rev. -, vom 04.07.2019

[1.1.2] IMO GmbH & Co. KG:  
Slewing Ring Calculation report - 32-36 2998/4-12874  
Dokument Nr.: 10000430851  
Rev. 08, vom 26.08.2019

#### Blattverstellgetriebe

[1.1.3] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Calculation pitch gearbox  
Dokument Nr.: 2019 / 011-3  
Rev. 3, vom 14.11.2019

[1.1.4] Enercon GmbH:  
Nachweis Blattverstellmotor und -bremse E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0732327-2  
Rev. 2, vom 30.08.2019

#### Blattarretierung

[1.1.5] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungsunterlagen, Arretierung Rotorblatt für Wartungsfälle, ENERCON  
Windenergieanlage EP3, Statik  
Dokument Nr.: D0870591-0b  
Rev. 0b, vom 11.11.2019

#### Rotornabe

[1.1.6] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Rotornabe, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0845131-0  
Rev. 0, vom 08.07.2019

### Hauptlagerung

- [1.1.7] PSL, a. s. (ThyssenKrupp):  
Technical Report - Enercon E-138 EP3 E2, Mainshaft Bearing  
Dokument Nr.: 19/12  
Rev. 00, vom 18.07.2019
- [1.1.8] SKF GmbH:  
Rechnerischer Nachweis zur Zertifizierung Nabenlagerung - Windenergieanlage  
Enercon E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: Enercon / E-138 EP3 E2  
Rev. R00, vom 22.07.2019
- [1.1.9] Schaeffler Technologies AG & Co. KG:  
Technische Dokumentation - Hauptlagerung - Windenergieanlage E138 EP3  
Dokument Nr.: TD\_Enercon\_E138 E2\_2019-08-02\_AC  
Rev. AC, vom 02.08.2019

### Rotorträger

- [1.1.10] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Rotorträger, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0826964-0a  
Rev. 0a, vom 22.10.2019

### Achszapfen

- [1.1.11] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Achszapfen, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0826967-1  
Rev. 1, vom 23.10.2019

### Achsdeckel

- [1.1.12] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Achsdeckel und Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen, Statik und  
Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0860857-0  
Rev. 0, vom 20.08.2019

### Rotorarretierung

- [1.1.13] ENERCON GmbH:  
Nachweis Rotorarretierung E-126 EP3, E-138 EP3 und E-115 EP3 E3  
Dokument Nr.: D0705527  
Rev. 4, vom 15.07.2019

### Rotorbremse

- [1.1.14] ENERCON GmbH:  
Nachweis Rotorbremse E-126 EP3, E-138 EP3 und E-115 EP3 E3  
Dokument Nr.: D0669913  
Rev. 4, vom 15.07.2019

### Maschinenträger

- [1.1.15] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Maschinenträger, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0852277-0  
Rev. 0, vom 25.07.2019

### Generatorstator

- [1.1.16] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Stator, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0853267-1  
Rev. 1, vom 08.10.2019

### Generatorrotor

- [1.1.17] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Generatorrotor, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0849695-0  
Rev. 0, vom 15.08.2019

### Azimutgetriebe

- [1.1.18] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Calculation Yaw gearbox DAT 400/3446-4000  
Dokument Nr.: 2019 / 014 - 5  
Rev. 6, vom 14.10.2019
- [1.1.19] Schaeffler:  
Berechnung Abtriebslagerung  
Dokument Nr.: 2019-10-16\_Lagerberechnung\_Enercon\_E-126\_AC12588010.vg2  
Rev. -, vom 16.10.2019

### Azimutlager

- [1.1.20] Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH:  
Technisches Datenblatt Azimutlager 36887260  
Dokument Nr.: 18762\_00  
Rev. 00, vom 29.07.2019

### Azimutarretierung

- [1.1.21] ENERCON GmbH:  
Nachweis Azimutmotor und -bremse E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0741886  
Rev. 3, vom 14.11.2019

### Anschlagpunkte

- [1.1.22] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 / E-138 EP3 E2 Anschlagpunkte Rotornabe, Statik  
Dokument Nr.: D0872445-0  
Rev. 0, vom 28.08.2019
- [1.1.23] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 Anschlagpunkte am Generatorrotor und Stator, Statik  
Dokument Nr.: D0875520-0  
Rev. 0, vom 19.09.2019

### Schraubverbindungen

- [1.1.24] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Blattflanschlager Schraubverbindung Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0852887-0  
Rev. 0, vom 02.08.2019
- [1.1.25] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Schraubverbindung Rotornabe – Rotorträger Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0826973-0  
Rev. 0, vom 17.07.2019
- [1.1.26] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Schraubverbindung Achszapfen – Statortragstern, Statik und Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0826971-1  
Rev. 1, vom 10.10.2019

[1.1.27] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Schraubverbindung Maschinenträger – Statortragstern Statik und  
Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0850207-0  
Rev. 0, vom 19.07.2019

[1.1.28] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2  
Achsdeckel und Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen, Statik und  
Betriebsfestigkeit  
Dokument Nr.: D0860857-0  
Rev. 0, vom 20.08.2019

## 1.2 Dazugehörige Dokumente

### Blattlager

[1.2.1] ENERCON GmbH:

Spezifikation Blattflanschlager E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0732166-3  
Rev. 3, vom 03.06.2019

### Blattverstellgetriebe

[1.2.2] Enercon GmbH:

"Spezifikation Blattverstellgetriebe E-138 EP3 E2"  
Dokument Nr.: D0742537-4  
Rev. 4, vom 26.06.2019

[1.2.3] Enercon GmbH:

Spezifikation Blattverstellmotor DC-8.8kW-38x58-FF265-85  
Dokument Nr.: D0765315-1  
Rev. 1, vom 29.08.2019

### Hauptlagerung

[1.2.4] ENERCON GmbH:

Spezifikation Hauptlagerung E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0743684-1  
Rev. 1, vom 26.06.2019

### Rotorbremse

[1.2.5] ENERCON GmbH:

Spezifikation Bremszange - WD4515-BD70-HY  
Dokument Nr.: D0640707-1  
Rev. 1, vom 18.09.2018

### Azimutgetriebe

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Azimutgetriebe E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0743650-1  
Rev. 1, vom 19.06.2019

### Azimutlager

- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Azimutlager E-138 EP3 E2  
Dokument Nr.: D0743664-1  
Rev. 1, vom 17.06.2019

### Hydrauliksystem

- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Hydraulikaggregat E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0748849-1  
Rev. 1, vom 10.01.2019
- [1.2.9] HOERBIGER Automatisierungstechnik GmbH:  
Technische Dokumentaton – Hydraulik-Kombiaggregat für Rotorbremse und  
Rotorarretierung  
Dokument Nr.: D0767891-0  
Rev. -, vom -

### Anschlagpunkte

- [1.2.10] ENERCON GmbH:  
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung, Statische  
Nachweise  
Dokument Nr.: D0448398-1  
Rev. 1, vom 10.12.2016

### Schraubverbindungen

- [1.2.11] ENERCON GmbH:  
Datenbank, Schraubenangaben Zusammenstellung  
Dokument Nr.: D0415273-2  
Rev. 2, vom 28.03.2018
- [1.2.12] ENERCON GmbH:  
MK 06 005 – 5: Montagevorgaben für Schraubverbindungen im  
Maschinenbau  
Dokument Nr.: D0204747-5  
Rev. 5, vom 24.10.2018

- [1.2.13] Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik, IGP:  
Experimentelle Untersuchung zur Ermittlung der Haftreibungszahl in der  
Trennfuge  
Prüfbericht Nr.: P-FH-AGP-1803-014  
Rev. 01, vom 16.08.2018

#### Konstruktionsbasis

- [1.2.14] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2  
Dokument-ID: D0765789-1a  
Rev. 1a, vom 12.09.2019
- [1.2.15] ENERCON GmbH:  
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen  
Dokument-ID: D0666243-3  
Rev. 3, vom 30.07.2018

#### Spezifikation Sphärogussteile

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

#### Konzept Wöhlerlinien für Gusseisen

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

#### Stellungnahmen

- [1.2.18] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Flanschlasten  
Dokument Nr.: D0867638-1  
Rev. 1, vom 26.09.2019

### **1.3 Lastannahmen**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-  
RB-02, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt und  
Maschinenbau  
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D VI  
Rev. 1, vom 11.12.2019

## **1.4 Zugehörige Prüfberichte**

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Evaluation Report Wind Turbine Platform ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE  
OD 501, IEC 61400-22 - Design Basis -  
Bericht Nr.: 8117 142 915-0 E  
Rev. 0, vom 12.09.2019
- [1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines, IEC 61400-22 - Design  
Basis for Cold Climate conditions -  
Bericht Nr.: 8115 599 054-0 E  
Rev. 0, vom 09.08.2018
- [1.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 und E-138  
P3 E2 verschiedene Konfigurationen - Turmkopfflansch -  
Bericht Nr.: 8115 022 604-11 D II  
Rev. 1, vom 29.10.2019

## **1.5 Hauptzeichnungen**

- [1.5.1] ENERCON GmbH:  
Nacelle view E-138 EP3 E2  
Zeichnung Nr.: EP3.00.148-0  
Rev. -, vom 24.09.2018

## **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

## **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 [1.2.14] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer für alle Komponenten:	25 Jahre
Blattarretierung:	Mechanisch, siehe [1.1.5]
Blattverstellsystem:	Verstellgetriebe mit Motor
Windrichtungsnachführung:	Verstellgetriebe mit Motor
Arretierung der Windrichtungsnachführung:	Motorbremsen der Azimutantriebe
Generatortyp:	Synchron
Generatorbezeichnung:	E-138 EP3 E2-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
Windzone gem. DIBt	-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 Blattlager

##### 4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung:	12889944
Material:	42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.:	ROD02994-032DJ18-001-000, Rev. 03.2, vom 22.07.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.1.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: IMO GmbH & Co. KG  
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung  
Handelsbezeichnung: 12874.00.0A.000000  
Material: 42CrMo4+QT  
Hauptzeichnung Nr.: 32.362998/4-12874, Rev. A, vom 18.09.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.2 **Blattverstellgetriebe**

##### 4.3.2.1 *Komponentenspezifikation*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH  
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe  
Handelsbezeichnung: DAT 250/3457-3000 (1285 6338\* / 1294 0474)  
Übersetzung: 176,4  
Hauptzeichnung Nr.\*: 368 457 2000 99 0, Rev. 03, dated 2019-07-31  
Schnittzeichnung Nr.\*: 368 457 2000 00 0, Rev. 03, dated 2019-07-12  
Hauptzeichnung Nr.: 368 457 2000 99 2, Rev. 00, dated 2019-08-26  
Schnittzeichnung Nr.: 368 457 2000 00 2, Rev. 00, dated 2019-08-26  
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 457 2000 10 0, Rev. 01, dated 2018-12-20  
Anzahl der Antriebe je Blatt: 1  
Motor: EMOD GKFB160L/4-220  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.3 **Blattarretierung**

##### 4.3.3.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Mechanische Arretierung  
Zeichnung Nr.: EP3.99.055-0, Rev. 0, vom 13.11.2019  
Anzahl der Arretierungen: 1  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.4 **Rotornabe**

##### 4.3.4.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussteil  
Handelsbezeichnung: Rotornabe EP3-ROH-08  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.104-1, Rev. 1, vom 03.07.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.5 Hauptlagerung

#### 4.3.5.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: PSL, a.s. (ThyssenKrupp)  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: PSL612-415  
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-415-PV\_4, Rev. 4, vom 16.02.2018  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: PSL612-416  
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-416-PV\_5, Rev. 5, vom 16.02.2018  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (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. 1-6 (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. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.6 Rotorträger

#### 4.3.6.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussteil  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.105-2, Rev. 2, vom 04.07.2019

Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### **4.3.7 Achszapfen**

##### *4.3.7.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussteil  
Handelsbezeichnung: Achszapfen EP3-AP-03  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.097-0, Rev. 0, vom 22.01.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (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. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### **4.3.9 Rotorarretierung**

##### *4.3.9.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Stahlbauteil  
Material: X20Cr13 + QT800  
Arretierbolzen Zeichnung Nr.: EP3.09-198-2, Rev. 2, vom 23.07.2018  
Anzahl der Arretierungen: 3  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (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. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.11 Maschinenträger**

#### *4.3.11.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Gussteil  
Handelsbezeichnung: Maschinenträger EP3-MC-06  
Material: EN-GJS-400-18-LT  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.880-0, Rev. 0, vom 24.06.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.12 Generatorstator**

#### *4.3.12.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Guss- und Schweißteil  
Material: EN-GJS-400-18-LT / S355 J2+N  
Zeichn.-Nr. Tragstern Hälfte: EP3.02.829-1, Rev. 1, vom 25.01.2019  
Zeichn.-Nr. Tragstern Hälfte: EP3.02.830-1, Rev. 1, vom 25.01.2019  
Zeichn.-Nr. Tragarm 12 Uhr: EP3.02.962-1, Rev. 1, vom 02.08.2019  
Zeichn.-Nr. Tragarm 2 Uhr: EP3.02.963-1, Rev. 1, vom 02.08.2019  
Zeichn.-Nr. Tragarm 4 Uhr: EP3.02.964-1, Rev. 1, vom 02.08.2019  
Zeichn.-Nr. Tragarm 6 Uhr: EP3.02.965-1, Rev. 1, vom 02.08.2019  
Zeichn.-Nr. Tragarm 8 Uhr: EP3.02.966-1, Rev. 1, vom 02.08.2019  
Zeichn.-Nr. Tragarm 10 Uhr: EP3.02.967-1, Rev. 1, vom 02.08.2019  
Zeichn.-Nr. Statorring P1: EP3.02.942-1, Rev. 1, vom 16.08.2019  
Zeichn.-Nr. Statorring P2: EP3.02.943-1, Rev. 1, vom 16.08.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

### **4.3.13 Generatorrotor**

#### *4.3.13.1 Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Schweißteil  
Handelsbezeichnung: Rotor 730.7040  
Material: S355J2+N (1.0577) (DIN EN 10025)  
Zeichn.-Nr. Rotor Mittelteil: EP3.02.944-1, Rev. 1, vom 26.06.2019  
Zeichn.-Nr. Rotor Seitenteil: EP3.02.945-1, Rev. 1, vom 26.06.2019  
Zeichn.-Nr. Rotor Seitenteil: EP3.02.953-1, Rev. 1, vom 26.06.2019  
Hinweis: Inkl. Schraubverbindung Generatorrotor - Rotorträger  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (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 (1258 8010\* / 1287 9245)  
 Übersetzung: 1237,5  
 Hauptzeichnung Nr.\*: 368 446 4000 99 0, Rev. 08, vom 23.10.2019  
 Schnittzeichnung Nr.\*: 368 446 4000 00 0, Rev. 08, vom 20.07.2019  
 Hauptzeichnung Nr.: 368 446 4000 99 1, Rev. 02, vom 25.10.2019  
 Schnittzeichnung Nr.: 368 446 4000 00 1, Rev. 02, vom 08.07.2019  
 Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 446 4000 10 0, Rev. 05, vom 27.09.2019  
 Anzahl der Antriebe: 12  
 Motoren: Nidec / 4P LS 112MG 4kW IFT/NIE V1 ID300-34119  
 FFB 45N.m  
 Getriebebau NORD / 112MH/4 BRE60 PT1000  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.15 Azimutlager

##### 4.3.15.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH  
 Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung  
 Handelsbezeichnung: 36887260  
 Material: 42CrMo4 V/Q+T  
 Hauptzeichnung Nr.: 091.70.3202.011.48.150D, Rev. A, vom 19.06.2018  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.16 Hydrauliksystem

##### 4.3.16.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: HOERBIGER Automatisierungstechnik GmbH  
 Handelsbezeichnung: HB14122-601A  
 Hauptzeichnung Nr.: HB14122-100A, Rev. -, vom 27.08.2018  
 Schaltplan Nr.: HB14122-601A, Rev. -, vom 23.05.2018  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-6 (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 dem Dokument unter Punkt 1.3 zu entnehmen sind.

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	DIBt Windzone	Gelände-kategorie
1	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01)	WZ 2	GK II
2	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01)	WZ 2	GK II

3	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01)	WZ 2	GK II
4	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02)	WZ 2	GK II
5	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01)	WZ 2	GK II
6	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02)	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.

Die statische und betriebsfeste Auslegung der Wellen wurde in Anlehnung an DIN 743, unter Beachtung festigkeitsrelevanter Einflüsse, wie Kerbwirkungen geprüft.

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, 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 (2015) 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.

### 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.

Die Prüfung erfolgte im Wesentlichen durch Vergleichsrechnung. Soweit die Abweichungen keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurden sie in der geprüften Unterlage nicht korrigiert. Schreib-, Übertragungs- und unbedeutende Fehler ohne Einfluss auf die Auslegung wurden in der geprüften Unterlage nicht korrigiert.

### 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/ Rotorblatt:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung
Schraubverbindung Azimutlager/ Turmkopfflansch:	Geprüft mit Turmkopfflansch, siehe [1.4.3]

Turmkopfflansch:

Nicht Bestandteil der  
maschinenbaulichen Prüfung

## 6 Bedingungen

- 6.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.

## 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, unter Beachtung der geforderten Lebensdauer von 25 Jahren.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

Die unter Punkt 5.4 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 6 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.

Der Sachverständige:



Eng. Mecânico F. Rodriguez

Freigegeben:



Dr.-Ing. W. Aldenhoff

## Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2

- Verkleidungen & Strukturen -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8116 503 696 - 12 D Rev. 1

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: E-115 EP3 E3  
E-138 EP3 E2

**Standortspezifikation:** Windzone: Siehe Tab. 4.2  
Geländekategorie: Siehe Tab. 4.2

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

**Prüfumfang:** Auslegungsanforderungen für Verkleidungen und  
Strukturen gem. DIN EN 61400-1:2011

Dieser Prüfbericht umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	19.11.2019	Erstausgabe	Dr.-Ing. Y. Ou
1	20.03.2020	- Generator Stator Verkleidung hinzugefügt - Lastbericht aktualisiert	C. Burges

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	3
1.1	Geprüfte Dokumente .....	3
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	4
1.3	Lastannahmen .....	5
1.4	Zugehörige Prüfberichte .....	5
2	Prüfgrundlagen .....	6
3	Einleitung .....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlagen .....	6
4.1	Anlagenkonzept .....	6
4.2	Umgebungsbedingungen .....	7
4.3	Geprüfte Verkleidungen und Strukturen .....	7
4.3.1	Maschinenhausverkleidung .....	7
4.3.2	Generatorverkleidung .....	8
4.3.3	Gondelbühne .....	8
4.3.4	Dachmodul .....	9
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen .....	9
5	Durchgeführte Prüfungen .....	10
5.1	Prüfmethoden .....	10
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen .....	10
5.3	Hinweise und Annahmen .....	11
5.4	Prüfergebnis .....	11
6	Bedingungen .....	11
7	Schlussfolgerungen .....	11

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Maschinenhausverkleidung

[1.1.1] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 und  
E-138 EP3 E2, Maschinenhausverkleidung, Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0860931-0  
Rev. 0, vom 04.09.2018

#### Generatorverkleidung

[1.1.2] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,  
Generatorverkleidung, Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0872400-0  
Rev. 0, vom 18.09.2019

[1.1.3] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2,  
Generatorverkleidung, Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0852098-0  
Rev. 0, vom 25.07.2019

[1.1.4] ENERCON GmbH:

"Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3  
Generatorverkleidung Containerfähig - Statischer Nachweis"  
Dokument Nr.: D0902975-0b  
Rev. 0b, vom 16.03.2020

#### Gondelbühne

[1.1.5] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,  
Gondelbühne, Statik  
Dokument Nr.: D0856173-0  
Rev. 0, vom 23.08.2019

#### Dachmodul

[1.1.6] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON EP3 Plattform (E-115 EP3 E3, E-126  
EP3, E-138 EP3 & E-138 EP3 E2), Dachmodul, Statik  
Dokument Nr.: D0850499-0  
Rev. 0, vom 22.08.2019

## Anschlagpunkte

- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,  
Anschlagpunkte Gondelbühne, Statik  
Dokument Nr.: D0862347-0  
Rev. 0, vom 23.08.2019

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3"  
Dokument Nr.: D0832892-1  
Rev. 1, vom 04.11.2019
- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2"  
Dokument Nr.: D0765798-1a  
Rev. 1a, vom 12.09 2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen"  
Dokument Nr.: D0666243-3  
Rev. 3, dated 2018-07-30

### Materialspezifikationen

- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Materialdaten für GFK Verkleidungskomponenten  
Dokument Nr.: D0689349-3  
Rev. 3, vom 15.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Spezifikation für glasfaserverstärkte Verkleidungen von ENERCON WEA  
Dokument Nr.: D0687898-3  
Rev. 3, vom 05.08.2019

## Anschlagpunkte

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung, Statischer  
Nachweis  
Dokument Nr.: D0448398-1  
Rev. 1, vom 10.12.2016

## Stellungnahmen

- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme Abteilung Lastensimulation - Frequenzvergleich  
Dokument Nr.: D0871819-1a  
Rev. 1a, vom 07.11.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
Frequenzvergleich; E-138 EP3 E2 HT-149-ES-C-01 mit E138 EP3 E2 HT-149-  
ES-C-02  
Dokument Nr.: D0871492  
Rev. 0, vom 17.09.2019

### **1.3 Lastannahmen**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115  
EP3-RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II  
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -  
Bericht Nr.: 8116503696-1 D III  
Rev. 0, dated 19.11.2019
- [1.3.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II  
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -  
Bericht Nr.: 8117142915-1 D VI  
Rev. 1, vom 11.12.2019

### **1.4 Zugehörige Prüfberichte**

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Evaluation Report – Wind Turbines ENERCON E-115 EP3 E3, IEC 61400-22 -  
Design Basis -  
Bericht Nr.: 8116503696-0 E  
Rev. 0, vom 04.11.2019
- [1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Evaluation Report – Wind Turbines ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE OD 501,  
IEC 61400-22 - Design Basis -  
Bericht Nr.: 8117142915-0 E  
Rev. 0, vom 12.09.2019
- [1.4.3] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:  
Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines,  
IEC 61400-22 - Design Basis for Cold Climate conditions -  
Bericht Nr.: 8115 599 054-0 E  
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:  
Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen  
IV – Teil 1, 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 Windenergieanlagen**

### **4.1 Anlagenkonzept**

Die technischen Spezifikationen der Windenergieanlagen sind den Dokumenten [1.2.1] - [1.2.3] zu entnehmen. Prüfergebnisse und Anmerkungen zur Spezifikation sind in den Berichten [1.4.1] - [1.4.3] dokumentiert.

## 4.2 Umgebungsbedingungen

Die Verkleidungen und Strukturen wurden für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Normales und kaltes Klima	-40 °C < t < +40 °C	-40 °C < t < +50 °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 Maschinenhausverkleidung

#### 4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH  
 Typ: GFK-Struktur  
 Material: siehe Spezifikation [1.2.4]  
 Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860520-0, Rev. 0, vom 24.10.2019  
 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]  
 Auslegungswindgeschwin.  $V_{e50}$ : 70 m/s (diese entspricht  $V_{ref}=50$  m/s)  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH  
 Typ: GFK-Struktur  
 Material: siehe Spezifikation [1.2.4]  
 Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0858989-1, Rev. 1, vom 07.11.2019  
 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]  
 Auslegungswindgeschwin.  $V_{e50}$ : 70 m/s (diese entspricht  $V_{ref}=50$  m/s)  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 3-8 (siehe Tabelle 4.2)

## 4.3.2 Generatorverkleidung

### 4.3.2.1 Komponentenspezifikation (Rotor & Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: GFK-Struktur  
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]  
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860520-0, Rev. 0, vom 24.10.2019  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.2]  
Auslegungswindgeschwin. $V_{e50}$ : 70 m/s (diese entspricht  $V_{ref}=50$  m/s)  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.2.2 Komponentenspezifikation (Rotor & Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: GFK-Struktur  
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]  
Hauptzeichnung Nr.: D0858989-1, Rev. 1, vom 07.11.2019  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.3]  
Auslegungswindgeschwin. $V_{e50}$ : 54.54 m/s (diese entspricht  $V_{ref}=38.96$  m/s)  
Verwendung: WEA Variante Nr. 3-8 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.2.3 Komponentenspezifikation (Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: GFK-Struktur  
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]  
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0938784-0, Rev. 0, vom 17.03.2020  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]  
Auslegungswindgeschwin. $V_{e50}$ : 70 m/s (diese entspricht  $V_{ref}=50$  m/s)  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

## 4.3.3 Gondelbühne

### 4.3.3.1 Komponentenspezifikation E-115 EP3 E3

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Stahlstruktur  
Material: S235JR / S355JR  
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860518-0, Rev. 0, vom 20.08.2019  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]  
Hinweis: Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung  
übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit  
 $V_{e50}=70$  m/s in Nabhöhe  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.3.2 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR / S355JR
Zeichnungsübersicht:	Dok.-Nr. D0858516-0, Rev. 0, vom 28.08.2019 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]
Hinweis:	Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit $V_{e50}=70$ m/s in Nabenhöhe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 3-8 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.4 Dachmodul

##### 4.3.4.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S355J2
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.03.862-2, Rev. 2, vom 14.08.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-8 (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	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	DIBt 2012	$V_{ref}^*$	Lastbericht
1	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	92 m (E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01)	WZ 4, GK I&II	45.13 m/s	[1.3.1]
2	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA)	WZ 4, GK I&II	43.33 m/s	[1.3.1]
3	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01)	WZ S, GK II	36.69 m/s	[1.3.2]
4	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01)	WZ 2, GK II	38.52 m/s	[1.3.2]
5	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02)	WZ 2, GK II	38.52 m/s	-

6	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2- ST-131-FB-C-01)	WZ S, GK II	37.69 m/s	[1.3.2]
7	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2- ST-131-FB-C-02)	WZ S, GK II	37.69 m/s	[1.3.2]
8	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	160 m (E-138 EP3 E2- HT-160-ES-C-01)	WZ 2, GK II	38.96 m/s	[1.3.2]

\*V<sub>ref</sub> – Bezugswindgeschwindigkeit

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 der Schraubenverbindungen wurde 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 Maschinenhaus- und Generatorverkleidung 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 Maschinenhaus- und Generatorverkleidung wurden für ständige und veränderliche Einwirkung gemäß den geltenden Richtlinien überprüft. Die speziellen Materialeigenschaften für glasfaserverstärkte Kunststoffe (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 Verkleidungen und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Die Prüfung erfolgte im Wesentlichen durch Vergleichsrechnung. Soweit die Abweichungen keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurden sie in der geprüften Unterlage nicht korrigiert. Schreib-, Übertragungs- und unbedeutende Fehler ohne Einfluss auf die Auslegung wurden in der geprüften Unterlage nicht korrigiert

### **5.4 Prüfergebnis**

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei den aufgebrauchten Einwirkungen 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 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 Verkleidungen 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 Einhaltung der unter Punkt 6 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Einsatz 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 "W. Aldenhoff".

Dr.-Ing. W. Aldenhoff

**An der Prüfung beteiligte Sachverständige:**

Dr.-Ing. Y. Ou