

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. 1

1 Prüfbescheid	3166558-1-d vom 12.12.2019
2 Hybridturm	3119511-1-d Rev.2 vom 29.11.2019
2.1 Lastannahmen für Turm und Fundament	8115920151-1 D VII Rev.0
2.2 Übersichtsplan Gesamtturm	D0867756-2
2.3 Bewehrung Rohteile	D0867761-1
2.4 Schalplan 1	D0867762-0
2.5 Schalplan 2	D0867763-0
2.6 Bewehrung Übergangsstück	D0867764-1
2.7 Übersicht Stahlturm	D0867759-1
3 Flachgründung mit Auftrieb Ø 22,50 m	3119511-2-d Rev. 1 vom 29.11.2019
3.1 Fundamentdatenblatt	D0858723-2
3.2 Schalplan	D0867757-0
3.3 Bewehrungsplan 1	D0867758-0
4 Flachgründung RT mit Spannraum mit und ohne Auftrieb Ø 22,50 m	3119511-3-d vom 29.11.2019
4.1 Fundamentdatenblatt	D0889738-1

4.2 Schalplan **D0886116-0**

4.3 Bewehrung Fundament RT 1.0 **D0886117-0**

4.4 Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser **D0886118-0**

5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen

5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament **8115920151-1 D VII Rev.0**

5.2 Sicherheitssystem und Handbücher **8115022604- 2 D Rev.0**

5.3 Rotorblatt **8115022604- 3 D Rev.1**

5.4 Elektrische Komponenten und Blitzschutz **8115022604- 5 D Rev.0**

5.5 Turmkopfflansch **8115022604- 11 D II Rev.0**

6 Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen **8117142915 D Rev. 0 vom 28.11.2019**

6.1 Lastannahmen für Turm und Fundament **8117142915-1 D I Rev.0**

6.2 Lastannahmen für Turm und Fundament **8117142915-1 D II Rev.0**

6.3 Lastannahmen für Turm und Fundament **8117142915-1 D III Rev.0**

6.4 Lastannahmen für Turm und Fundament **8117142915-1 D IV Rev.0**

6.5 Lastannahmen für Turm und Fundament **8117142915-1 D V Rev.0**

6.6 Lastannahmen für Turm und Fundament **8117142915-1 D VI Rev.0**

6.7 Sicherheitssystem und Handbücher **81171472915-2 D Rev.0**

6.8 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8117142915-5 D Rev.0
6.9 Rotorblatt 8117142915-3 D Rev.0
6.10 Maschinenbauliche Komponenten 8117142915-4 D Rev.0
6.11 Verkleidungen & Strukturen 8116503696-12 D Rev. 0

7 Revisionstabelle

Datum	Änderung
26.09.2019 Rev. 0	Dokument erstellt 1 Hybridturm 3119511-1-d Rev.1 vom 19.09.2019 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 2 Flachgründung mit Auftrieb Ø 22,50 3119511-2-d vom 13.09.2019 2.3 Fundamentdatenblatt D0858723-2 Rev. 2 2.1 Schalplan D0867757-0 2.2 Bewehrungsplan 1 D0867758-0 3 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen 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	Hybridturm 3119511-1-d Rev.2 vom 29.11.2019 Übersichtsplan Gesamtturm D0867756-2 Bewehrung Rohteile D0867761-1 Bewehrung Übergangsstück D0867764-1 Übersicht Stahlturm D0867759-1 Flachgründung mit Auftrieb Ø 22,50 m 3119511-2-d Rev. 1 vom 29.11.2019 Flachgründung RT mit Spannraum mit und ohne Auftrieb Ø 22,50 m 3119511-3-d vom 29.11.2019 Fundamentdatenblatt D0889738-1 Schalplan D0886116-0 Bewehrung Fundament RT 1.0 D0886117-0 Bodenplatte für Fundament bei Grundwasser D0886118-0 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen 8117142915 D Rev. 2 vom 28.11.2019 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 8117142915-2 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



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 12.12.2019

Prüfnummer: 3166558-1-d

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

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/BP

Dokument:
3166558-1-d_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.



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



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



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	12.12.2019	Erstfassung

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
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)	7,63 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.



Industrie Service

- [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“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 12 Seiten,
Dokument Nr.: 3119511-1-d, Rev. 2, Datum 2019-11-29
- [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, Ø = 22,50 m, Windzone 2, Geländekategorie II“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten,
Dokument Nr.: 3119511-2-d, Rev. 1, Datum 2019-11-29
- [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, Ø = 22,50 m, Windzone 2, Geländekategorie II“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 7 Seiten,
Dokument Nr.: 3119511-3-d, Rev. 0, Datum 2019-11-29

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. 0, Datum 2019-09-12

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. 0, Datum 2019-11-28

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.



Industrie Service

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 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



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: 29.11.2019

Prüfnummer: 3119511-1-d Rev.2

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

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

Gültig bis: 12.09.2024

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/BP

Dokument:
3119511-1-
d_Rev.2_ENERCON_E-138
EP3_E-138 EP3 E2_Hybridturm
E20_HH160m.docx

Das Dokument besteht aus
12 Seiten.
Seite 1 von 12

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

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



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



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.09.2019	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.

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:.....	6
3.2.	Baustoffe:.....	6
3.3.	Lastannahmen:	7
4.	Prüfumfang	7
5.	Prüfbemerkungen.....	8
6.	Prüfergebnis.....	10
	Auflagen.....	10
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne	12



Industrie Service

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, Stahlturm", 93 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. d, Datum 2019-11-14
ENERCON Dokument Nr. D0867768-1
- [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", 25 Seiten, Projekt Nr. 21683-E20, Rev. b, Datum 2019-09-18
ENERCON Dokument Nr. D0867771-0
- [7] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", 8 Seiten, Dokument Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [8] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1

1.2. Eingesehene Unterlagen

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

Lasten:

- [9] "Lastenbericht Turm E-138 EP3-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremelasten 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
- [10] "Lastenbericht Turm E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremelasten 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
- [11] "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



Industrie Service

Fundament-“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten,
Dokument Nr. 8115920151-1 D VII, Rev.0, Datum 2019-08-22

- [12] „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.0, Datum 2019-09-12

Betonturm:

- [13] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl, 46 Seiten,
Projekt Nr. 21683, Rev. 0, Datum 2019-08-29
- [14] Zeichnung „Fugendetailplan“, erstellt von Max Bögl, 1 Blatt,
Dokument Nr. DE-E20-M008-Montageplan, Rev. a, Datum 2019-09-17
- [15] 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,
Zulassungs-nr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [16] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten,
Zulassungs-nr. Z-13.3-141, vom 15.04.2019, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [17] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten,
Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [18] 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,
Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [19] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 54 Seiten,
Projekt Nr. 21683, Rev. b, vom 2019-06-27
- [20] „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, vom 2019-07-04

Stahlurm:

- [21] Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“, erstellt von ENERCON GmbH, 1 Blatt,
Zeichnung Nr. 115.03.003-1, Rev. 1, Datum 2018-02-20
- [22] „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

- [23] "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, vom 29.10.2019

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 1090-2:2011 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011“
- /11/ DAST – Richtlinie 021:2013 "Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6"

- /12/ 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"
- /13/ DIN EN ISO 4014:2011 "Sechskantschrauben mit Schaft – Produktklassen A und B (ISO 4014:2011); Deutsche Fassung EN ISO 4014:2011"
- /14/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /15/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600: „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

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 Stahlrohr-aufsatz. Der Betonteil besteht aus 30 Segmenten, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen Betonfertigteilelemente haben einen kreisringförmigen Querschnitt und werden aus Drittelschalen zusammengesetzt. Die horizontalen Fugen zwischen den Betonfertigteilen werden planmäßig trocken ausgeführt. Die Fuge am Turmfuß wird mit Verguss hergestellt. Die vertikalen Fugen der Teilsegmente werden trocken ohne Verbund ausgeführt. 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 Turmkopfflansch:	3,218 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

3.2. Baustoffe:

Betonfertigteile	C100/115 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [17]
	C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
	Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß

	DIN EN 206-9 und abZ [17] eingesetzt
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und abZ [18]
Spannsystem:	20 Spannglieder System SUSPA Draht EX-72, 72 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt ge- mäß [15] in Verbindung mit [16]
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 /11/ M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /11/
Gewindebolzen	M56-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /12/
Ankerring	S355J2 gemäß DIN EN 10025
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014 /13/

3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Windenergieanlagen E-138 EP3 und E-138 EP3 E2 sind in [9] und [10] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und für die ermüdungsnachweise angegeben. Diese Lasten wurden mit den gutachtlichen Stellungnahmen [11] und [12] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. In [9] und [10] 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 wurden nicht berücksichtigt.

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 Hybriddurms 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 [21] wurden im Dokument [22] durchgeführt und mit [23] 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 [19] durchgeführt und mit [20] 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 [11] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,201 Hz bis 0,236 Hz) und des im Lastgutachten [12] 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 [9] und [10] 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.

	Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer
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 [17] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [18] 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:

Gemäß [2] wurden für die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) folgende Kerbfallklassen angesetzt:

Lage in Bezug auf die Stahlurmhöhe	Kerbfallklasse
Variante 1: Zwischen 0,000 m und 70,000 m:	DC 90
Variante 2: Zwischen 0,000 m und 70,000 m:	DC 80 gemäß DIN EN 1993-1-9 /8/

Ausführungsvarianten:

Die 2 Varianten der Stahlurmsektion unterscheiden sich in der Wanddicke der Stahlbleche sowie der zulässigen Kerbfallklasse für Anbauteile.

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.



Industrie Service

Änderung in Rev.2 dieses Prüfberichtes:

Dokument [5] wurde ergänzt, um die Fundamentvariante RT 1.0 abzudecken. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [18] wurde für die Anwendung der geschweißten Bewehrungselemente ergänzt. Dokument [23] wurde aktualisiert, um die beiden Anlagen E-138 EP3 und E-138 EP3 E2 abzudecken. 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 [9] und [10] geeignet.

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

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [9] und [10] 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.



Industrie Service

8. Die Fertigung des Stahlrohturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.
9. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) 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 [15] und [16] sowie für die Hochfestbetone [17] und geschweißten Bewehrungselemente [18] 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

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

B. Peng

Der Leiter

i.V. S. Mayer

Anhang 1 zu 3119511-1-d Rev.2: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E20-001-XX-X- Uebersicht ENERCON Planbe- zeichnung: D0867756-2	c	Uebersichtsplan Gesamtturm NH=160m, Spannglieds. „SUSPA“	2019-11-08
[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	b	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2019-09-19

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A6]	DE-E20-022-XX-X- Uebersicht ENERCON Planbe- zeichnung: D0867759-1	h	Übersichtsplan Stahlturm	2019-11-15

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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5% erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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 Stellungnahme abgedeckt.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Umgebungsbedingungen

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

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	DIBt WZ 2 GK II	IEC IIIA
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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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.

	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-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°
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
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

Rotorblattstruktur	Dateiname	
	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%

² 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 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 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: $k_{\phi,dyn}$	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.

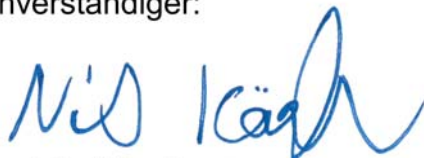
6 Auflagen

- 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:



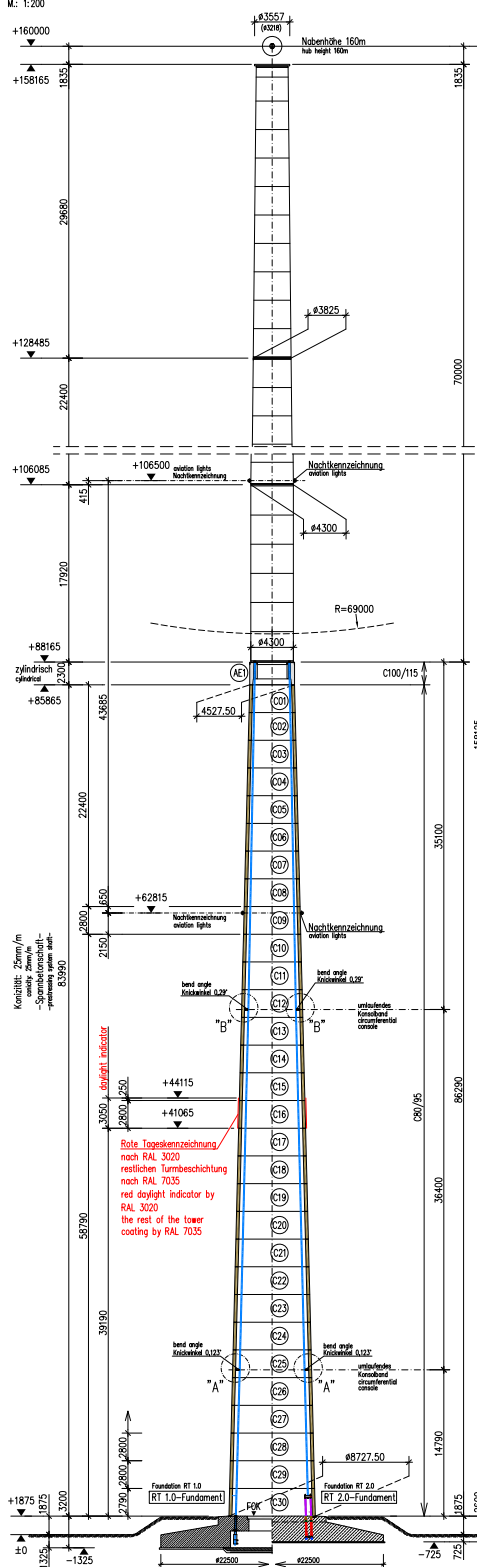
M.Sc. Nils Kägeler

Freigegeben:



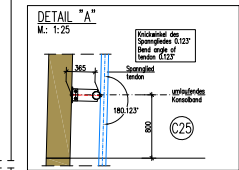
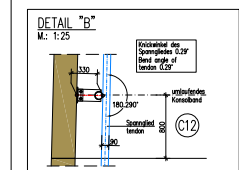
M.Sc. Konstantin Konkel

LONGITUDINAL SECTION
LAENGSSCHNITT

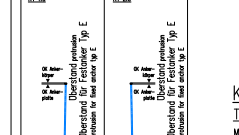


Spannverfahren/Prestressing system
gültig für RT 1.0- und RT 2.0-Fundament

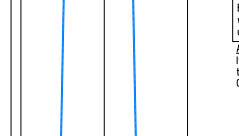
Spannverfahren/ Prestressing system	Spannverfahren/ Prestressing system	Spannverfahren/ Prestressing system
Spannverfahren/ Prestressing system	Spannverfahren/ Prestressing system	Spannverfahren/ Prestressing system
Spannverfahren/ Prestressing system	Spannverfahren/ Prestressing system	Spannverfahren/ Prestressing system



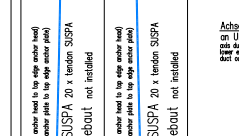
SPANNGLIEDER FÜR
RT 1.0-Fundament



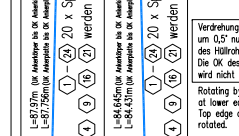
SPANNGLIEDER FÜR
RT 2.0-Fundament



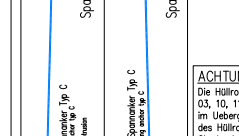
SPANNGLIEDER FÜR
RT 2.0-Fundament



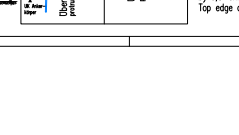
SPANNGLIEDER FÜR
RT 2.0-Fundament



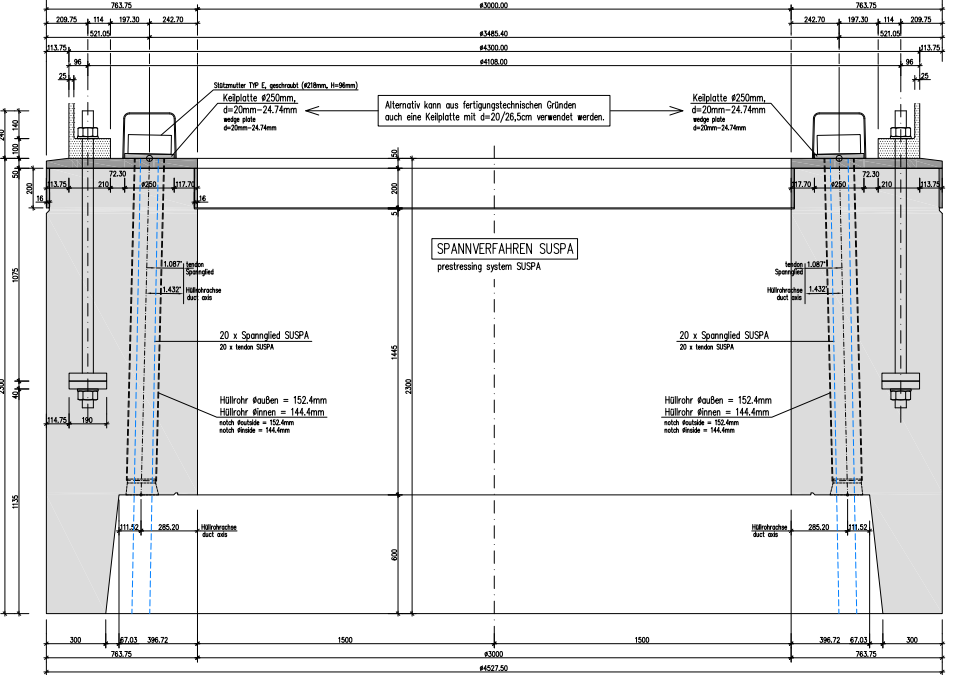
SPANNGLIEDER FÜR
RT 2.0-Fundament



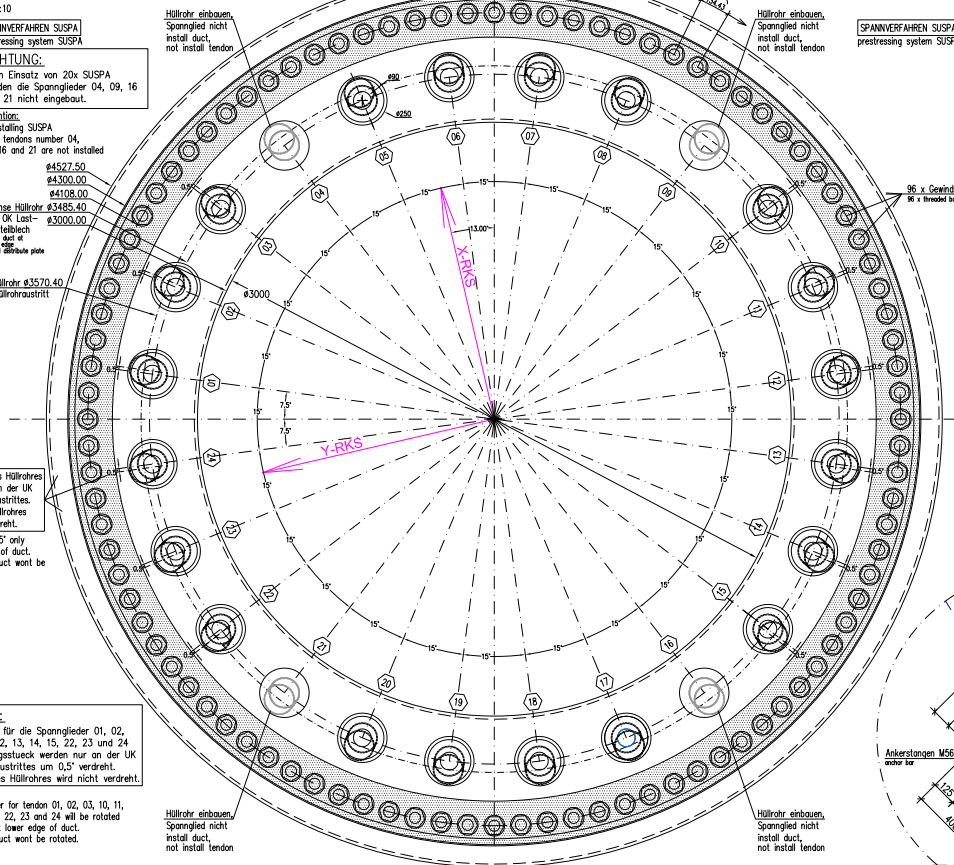
SPANNGLIEDER FÜR
RT 2.0-Fundament



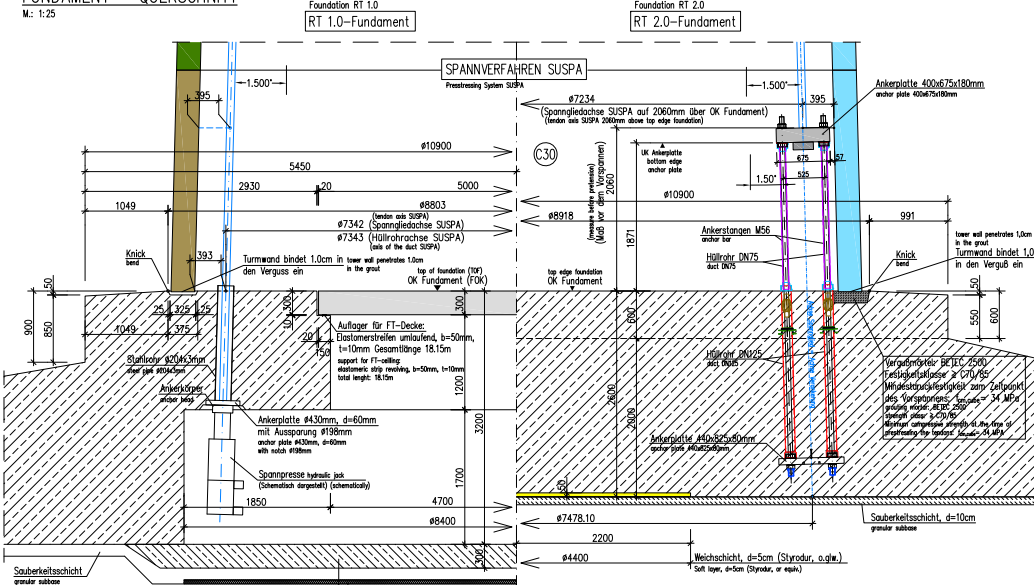
UEBERGANGSSTUECK
TRANSITION PIECE



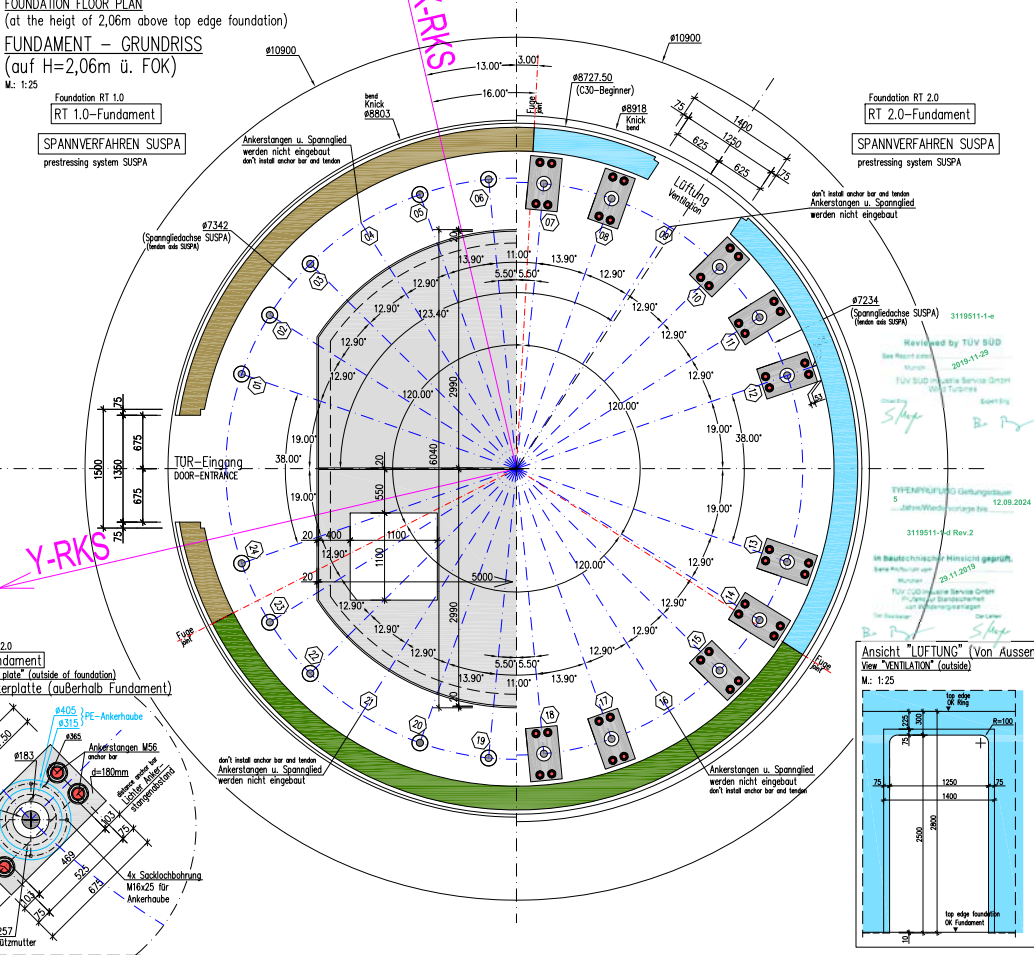
KOPFAUSBILDUNG - DRAUFSICHT
TOP OF ADAPTER - TOP VIEW



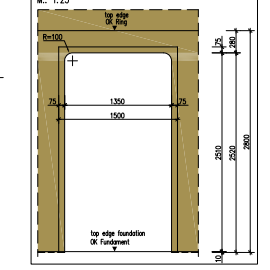
FOUNDATION CROSS SECTION
FUNDAMENT - QUERSCHNITT



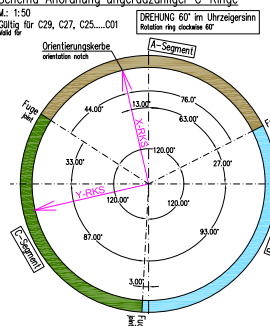
FOUNDATION FLOOR PLAN
FUNDAMENT - GRUNDRISS



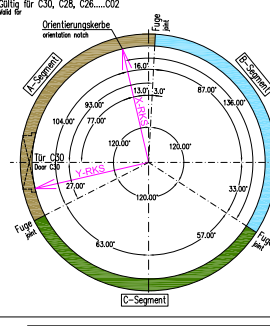
Ansicht "TUR" (von Innen)
View "tower" (inside)



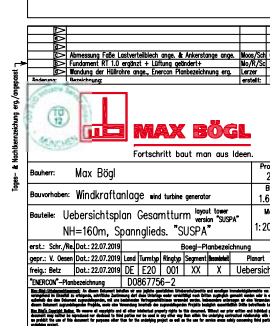
Schema-Anordnung ungeradzähliger C-Ringe
Schema arrangement odd C-rings



Schema-Anordnung geradzähliger C-Ringe
Schema arrangement even C-rings



ANSICHT "LÜFTUNG" (VON AUSSEN)
View "ventilation" (outside)



BEWEHRUNG GÜLTIG FÜR ALLE 3-TEILIGEN RINGE

REINFORCEMENT VALID FOR ALL 3-PARTED RING SEGMENTS

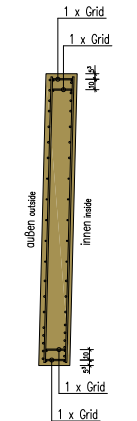
Dargestellt ist Ring C14
It is shown ring C14

ANSICHT
VIEW

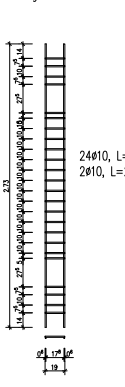
M.: 1:25

SNITT 1-1
SECTION 1-1

M.: 1:25

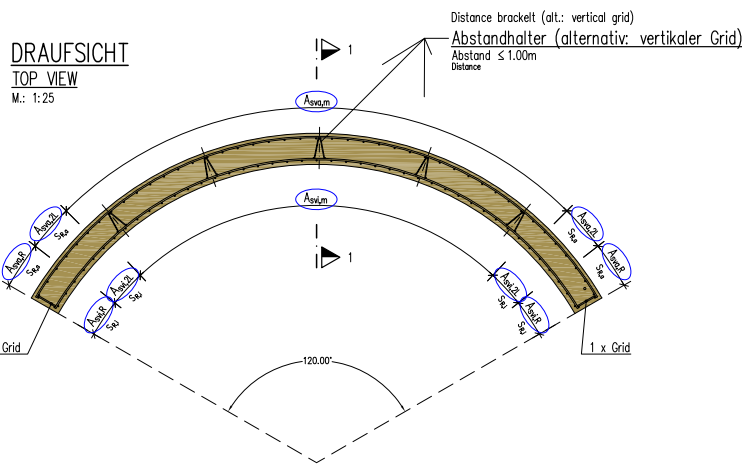


2x Grid-Vertikal
2x grid-vertical

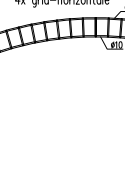


DRAUFSICHT
TOP VIEW

M.: 1:25



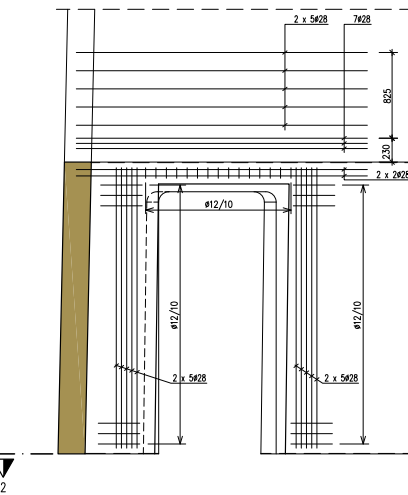
4x Grid-Horizontal
4x grid-horizontale



DETAIL TUEROEFFNUNG DETAIL DOOR OPENING

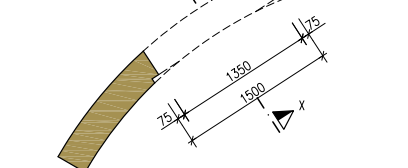
ANSICHT "VON INNEN"
VIEW "INSIDE"

M.: 1:25



SNITT 2-2
SECTION 2-2

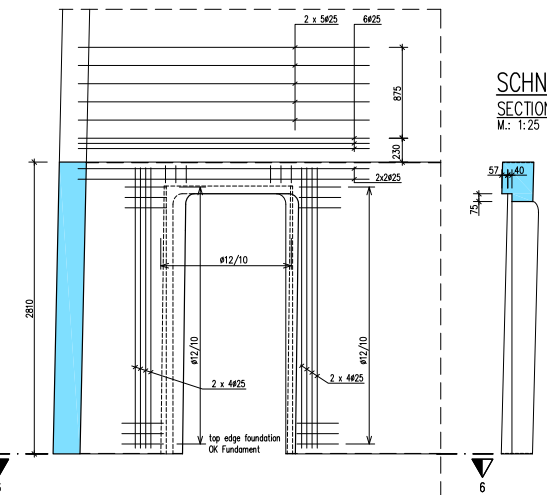
M.: 1:25



DETAIL LUEFTUNGSOEFFNUNG DETAIL VENTILATION OPENING

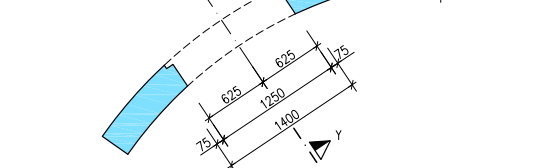
ANSICHT "VON INNEN"
VIEW "INSIDE"

M.: 1:25



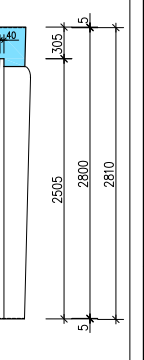
SNITT 6-6
SECTION 6-6

M.: 1:25



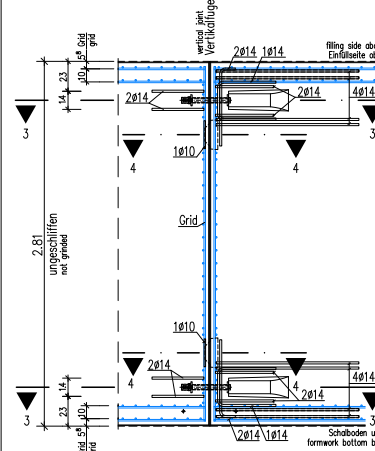
SNITT Y-Y
SECTION Y-Y

M.: 1:25



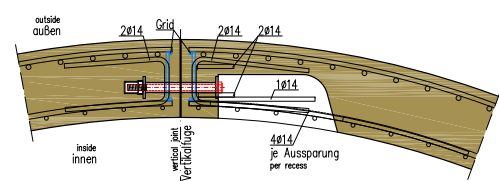
View vertically joint (inside)
ANSICHT VERTIKALFUGE (von Innen)

M.: 1:20



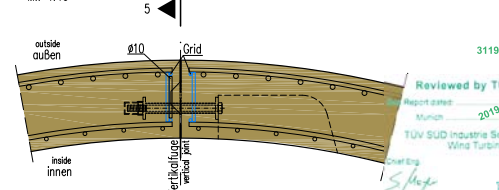
Section 3-3 (additional reinforcement screw connection)
SNITT 3-3 (Zusatzbewehrung Verschraubung)

M.: 1:10



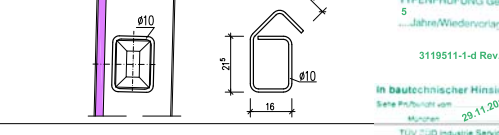
Section 4-4 (additional reinforcement for interlocking)
SNITT 4-4 (Zusatzbewehrung Nocke)

M.: 1:10



Section 5-5
SNITT 5-5

M.: 1:10



Ringbez. Ringdenom.	S _R a	S _R i	außen outside									innen inside								
			horizontal				vertikal					horizontal				vertikal				
			A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,ha}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}	A _{S,hi}
C01	296	257	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0+Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/20.0	Φ12/15.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ12/15.0	Φ10/15.0
C02	305	266	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/17.5	Φ12/17.5	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/17.5	Φ10/20.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0
C03	315	275	Φ10/17.5	Φ12/17.5	Φ12/17.5	Φ10/17.5	Φ10/20.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C04	324	285	Φ10/17.5	Φ12/17.5	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C05	333	294	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/17.5	Φ12/17.5	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/17.5	Φ10/20.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0	Φ12/17.5	Φ10/15.0
C06	342	303	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C07	351	312	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C08	360	321	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C09	370	330	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C10	378	340	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C11	388	349	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C12	397	358	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C13	406	367	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C14	415	376	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C15	425	385	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C16	434	394	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C17	443	404	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C18	452	413	Φ12/20.0	Φ10/17.5	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C19	461	422	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C20	470	431	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C21	480	440	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C22	488	449	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C23	496	458	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C24	507	468	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C25	516	477	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C26	525	486	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C27	535	495	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C28	544	504	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C29	553	514	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0
C30	562	523	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/20.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0+Φ12/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ12/20.0	Φ10/15.0	Φ10/15.0

2019-09-12_E20_Bewehrung_NB_sigrs=135_wk=0.2mm_xlsm

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

measure in "blue" are listed in the table
table valid for all rings

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

NOTES WELDING WORK:
All welding work on reinforcement bars have to be performed to DIN EN ISO 17660-1 and DIN EN 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 WPS verschweißt.


NOTES WELDING WORK:
The bar ends of the external and the internal reinforcement steel mesh become welded on the crosspoints according to WPS

Zugehörige Pläne		Associated drawings
	Planbezeichnung	
01_XX_X_Ubersicht	Uebersichtsplan Gesamtturn	layout complete tower
95_XX_X_Schalplan	Schalplan Rohteile C-Ringe	formwork plan raw part C-rings


96 x herstellen pro Uebergangsstueck
96 x produce per transition piece

- E130

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


- E131

HV-Scheibe M56-370HV nach DAST-Richtlinie 021 – flZnncl-1000h
hv-washer M56-370HV according DAST-guideline 021 – flZnncl-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

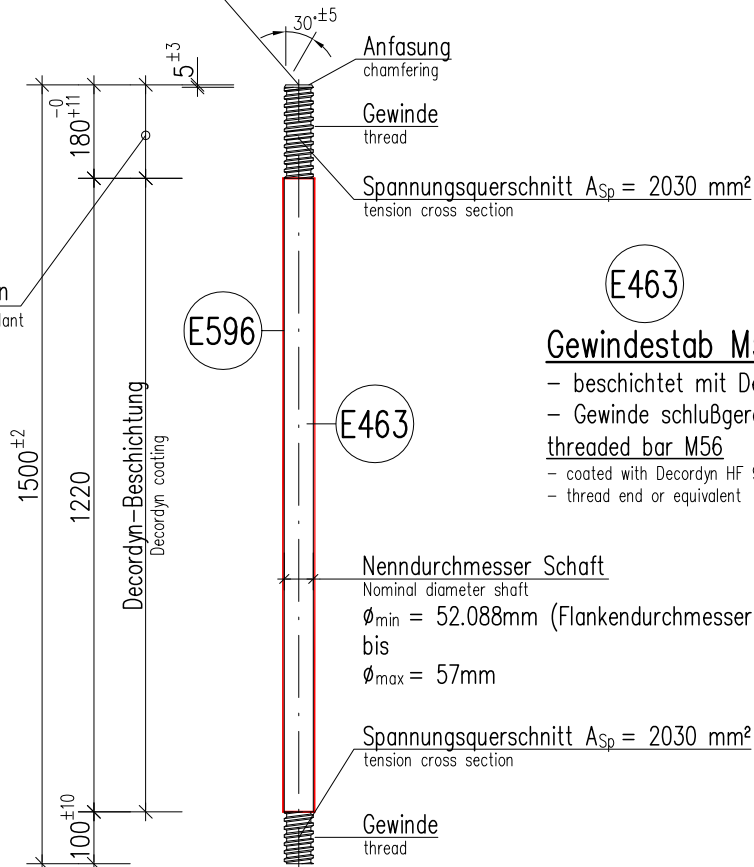
Standards for anchor bolt

- 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

LUFTSEITE
AIR SIDE



- 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

- 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 flZnncl-1000h 6H	2173040	hexagon nut DAST-guideline 021 M56 10 flZnncl-1000h 6H
E131	1	Stück	Scheibe DAST021 M56 370HV flZnncl-1000h	2173031	washer DAST-guideline 021 M56 370HV flZnncl-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

1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8	Anlagenbeschreibung angep.; Enercon Planbezeichnung ergän.	Ern./Ler.	18.09.2019
Änderung:	Bezeichnung:	erstellt:	Datum:



MAX BÖGL

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	Turntyp
freig.: Betz	Dat.: 22.07.2019	DE	E20
		AE1	HV
		1	Schalplan
		a	
ENERCON-Planbezeichnung		D0867762-0	

Max-Bögl-Urheberrechtswarnung: An diesem Dokument behalten wir uns jegliche gesetzlichen Urheberrechte und sonstigen Immaterialgüterrechte vor. Ohne unsere vorangehend im Einzelfall zu erlangende, schriftliche Zustimmung darf diese Unterlage weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden oder in einer anderen Weise außerhalb des dem Dokument zugrundeliegenden, mit uns bestehenden Vertragsverhältnisses verwendet werden. Insbesondere untersagen wir eine Verwendung außerhalb des diesem 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.

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 – flZnncl-1000h, Toleranz 6H
hexagon nut M56-10 according DAST-guideline 021 – flZnncl – 1000h, tolerance 6H


- E131

HV-Scheibe M56-370HV nach DAST-Richtlinie 021 – flZnncl-1000h
hv-washer M56-370HV according DAST-guideline 021 – flZnncl-1000h



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 flZnncl-1000h 6H	2173040	hexagon nut DAST-guideline 021 M56 10 flZnncl-1000h 6H
E131	1	Stück	Scheibe DAST021 M56 370HV flZnncl-1000h	2173031	washer DAST-guideline 021 M56 370HV flZnncl-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

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

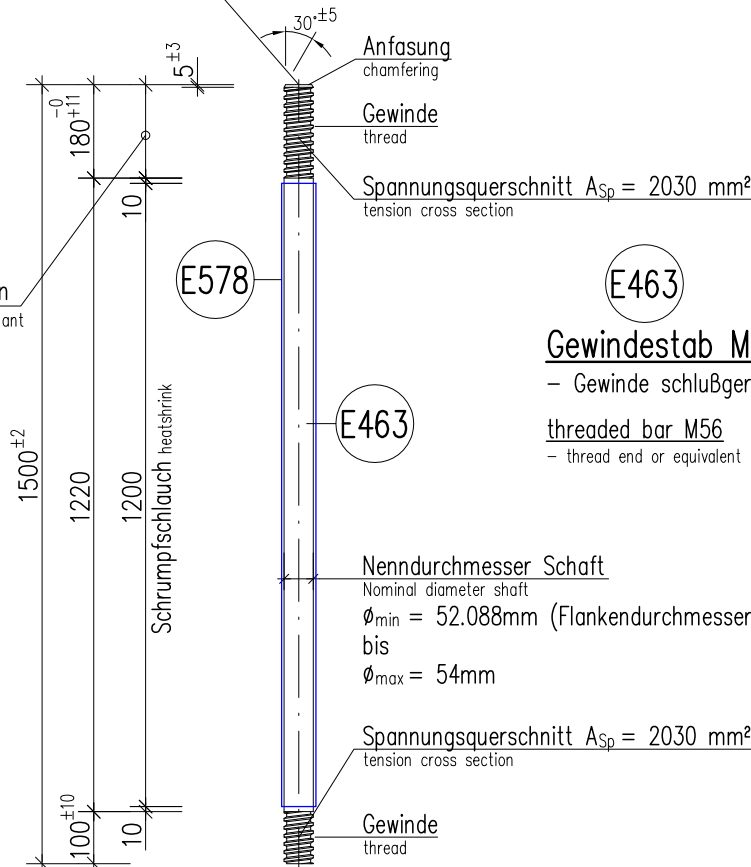
Standards for anchor bolt

- 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

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:

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
TÜV 12
MÜNCHEN

**MAX BÖGL**

Fortschritt baut man aus Ideen.

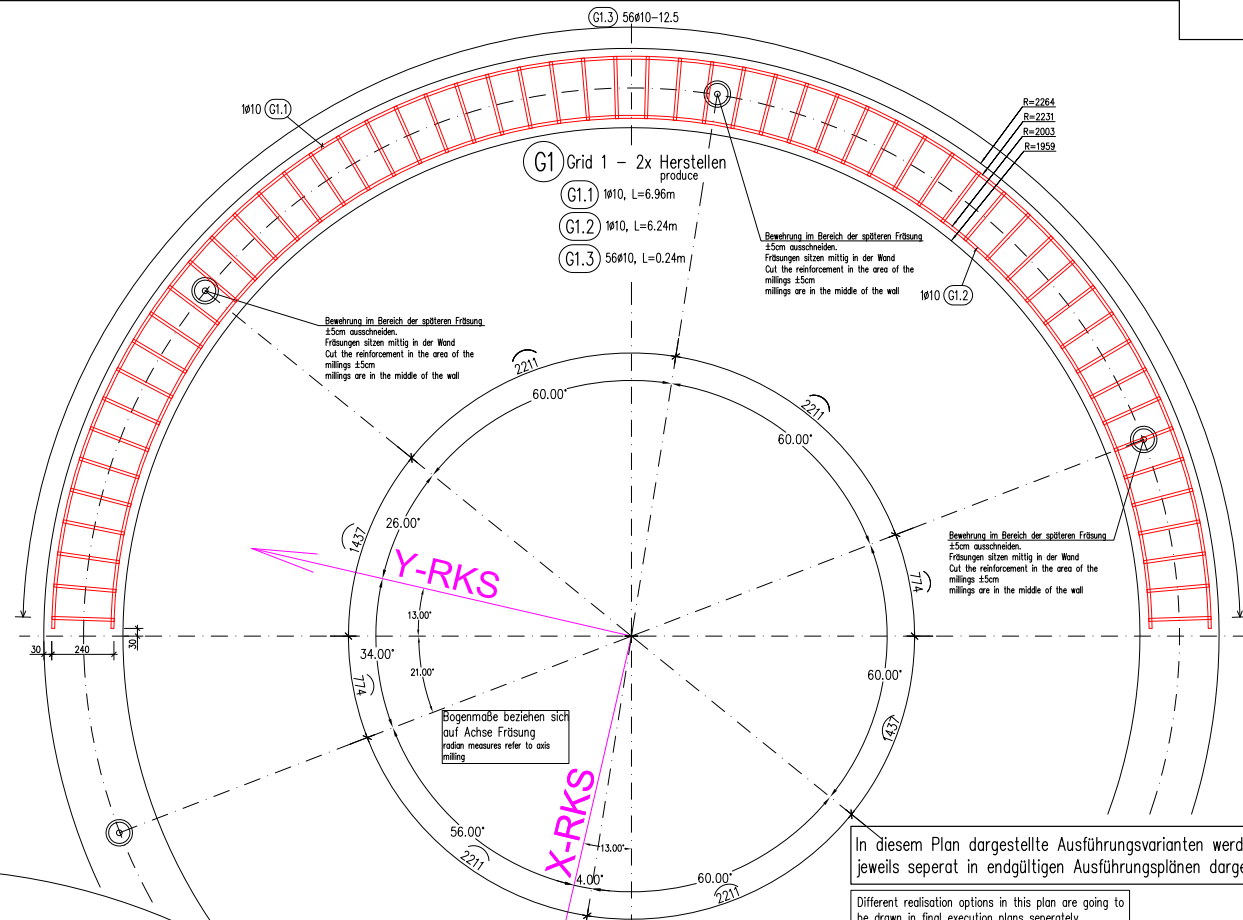
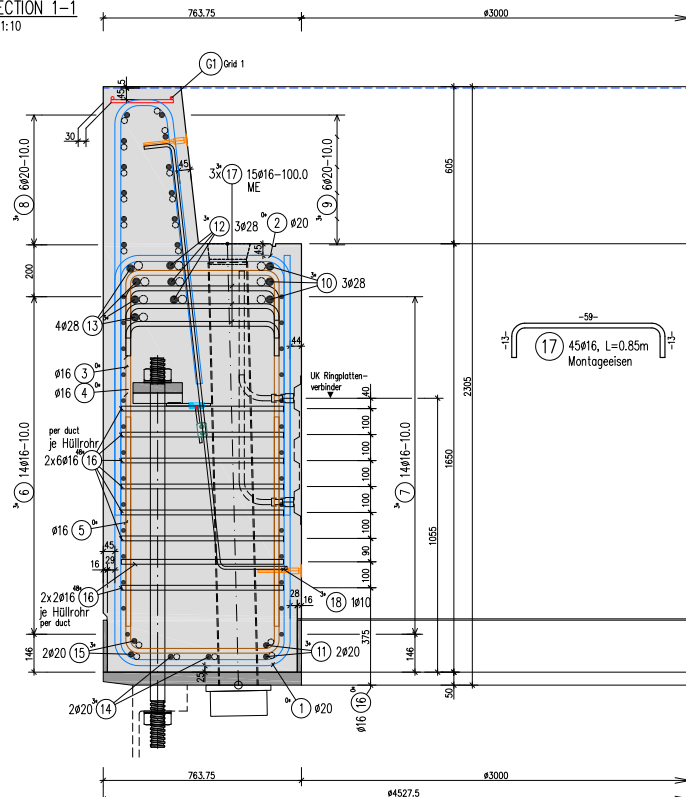
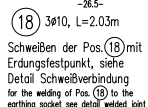
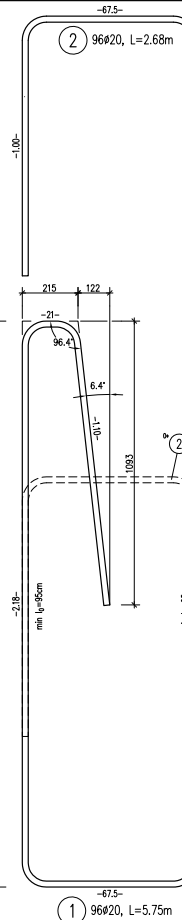
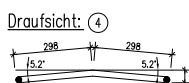
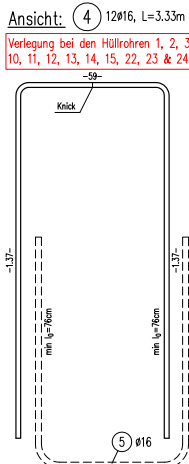
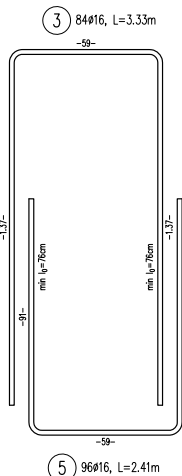
Bauherr:	Max Bögl	Projekt Nr.:	21683					
Bauvorhaben:	Windkraftanlage	Blattgr.:	.594*.42					
Bauteile:	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0150830 threaded bar with heatshrink for transition piece	Maßstab:	1:50					
erst.: Moos.	Dat.: 22.07.2019	Boegl-Planbezeichnung						
gepr.: Reitensp.	Dat.: 22.07.2019	Land	Turntyp	Ringtyp	Segment	Besonderheit	Planart	Index
freig.: Betz	Dat.: 22.07.2019	DE	E20	AE1	HV	2	Schalplan	a
ENERCON-Planbezeichnung		D0867763-0						
<small>Max-Bögl-Urheberrechtsvermerk: An diesem Dokument behalten wir uns jegliche gesetzlichen Urheberrechte und sonstigen Immaterialgüterrechte vor. Ohne unsere vorangehend im Einzelfall zu erlangende, schriftliche Zustimmung darf diese Unterlage weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden oder in einer anderen Weise außerhalb des dem Dokument zugrundeliegenden, mit uns bestehenden Vertragsverhältnisses verwendet werden. Insbesondere untersagen wir eine Verwendung außerhalb des diesem 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.</small>								

Soficad-Dateiname: DE_E20_AE1_HV_2_Schalplan

Ansicht: ④ 12Ø16, L=3.33m

③ 84Ø16, L=3.33m

Verlegung bei den Hüllrohren 1, 2, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 & 24



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.

Zugehörige Pläne		Associated drawings
Plan Nr.:	Planbezeichnung	
DE_E20_001_XX_X_Ubersicht	Übersichtsplan Gesamturm	layout complete tower
DE_E20_AE1_K1_X_Schalplan	Schalplan Übergangsstück AE1	formwork of transition piece AE1
DE_E20_AE1_HW_1_Schalplan	Einbauteile fuer Übergangsstück AE1	installation parts for transition piece AE1
DE_E20_AE1_HW_2_Schalplan	Einbauteile fuer Übergangsstück AE1	installation parts for transition piece AE1

<p align="center">Biege- und Verlegeanweisung Bendung- und installation instruction <i>nach/according: EC2 + NA</i></p>				
<p align="center">Mindestbiegeradiusdurchmesser / Minimum mandrel diameters</p>				
	Due			
	 Stützbiegeradius over bend	 Haken bend	 Bogen bend	
	 Winkelbender hook	 Schleife loop		
Beidseitig reithändig für Biegebo- gen spannen zwei Personen je Seite je Hand	$> 30 \text{ mm}$ und $> 7 \text{ t}$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$ $> 30 \text{ mm}$ und $> 3 \text{ t}$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$ $< 30 \text{ mm}$ und $< 3 \text{ t}$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 20$	$\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$	$\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$ $\Rightarrow R_{\text{min}} = 10$	
<p>Die Geometrien der Auszüge beziehen sich auf Außenbohrer</p> <p>All metal lengths of bar profiles show outside dimensions</p>				

Baustoffe				
Building materials				
letzte Stabstahlposition first steel bar position	—	Betonstahl reinforcement steel	BS5008	gründ./found. to DIN 401-1 + DIN EN 10080
letzte Wattersonnen first mesh position	—	Betonfestigkeitsklasse concrete strength	C100/115 (+)	gründ./found. to DIN EN 1992-1-1
Betondeckung [mm] concrete cover		Expositionsklasse exposure class	Vergleichende equivalent measure	Vorhersehene Δ_{max} assumed maximum
Innen	interior	XCL, XF1, XF2	40/45	10
außen/Exterior	exterior/Exterior	XCL, XF1, XF2	25/35	10/10/10
außen/Exterior	exterior	XCL, XF1, XF2	45	10
Betondeckung to grund/DIN EN 1992-1-1: 4,5 kN/m² verankert/so projected concrete cover to be confirmed with the present point according to DIN EN 1992-1-1: 4,5 kN/m²				

ENERCON Windenergieanlage	ENERCON wpd turbine generator
E-138 EP3-HT-160-ES-C01	E-138 EP3-HT-160-ES-C01
E-138 EP3-HT-160-ES-C01	E-138 EP3-HT-160-ES-C01
DBI 2012 WZ 2 / IEC W3 IIIA	DBI 2012 WZ 2 / IEC W3 IIIA



Wandung der Wälzlager ange, Maße Fritzung, Softrasaxialbol ange	Lezer	18.08.2012
Angabebeschreibung ange, Enercon Planbezeichnung ange	Ern. A. /	18.08.2012
Bezeichnung	erstellt:	Datum:

[illegible]

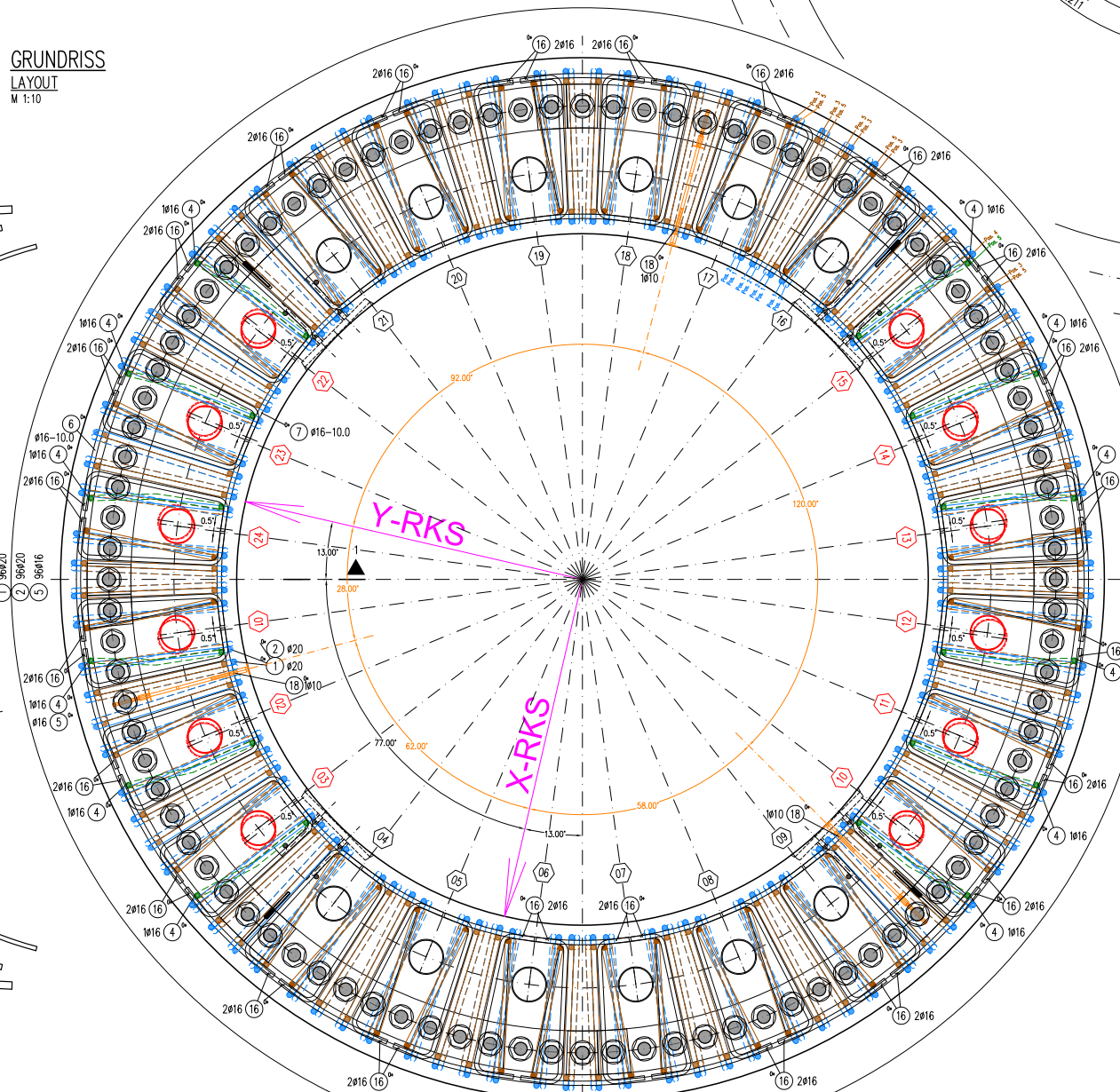
ACHTUNG:
Die Hüllrohre für die Spannglieder 01, 02, 03, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23 und 24 im Übergangsstück werden nur an der UK des Hüllrohraustrittes um 0,5° verdreht.
Oberkante des Hüllrohres wird nicht verdreht.

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: ceme
Bezeichnung: CEM

Pos.	Stk.	d	Länge	D10
G1.1	1	10	6.955	6.955
G1.2	1	10	6.240	6.240
G1.3	56	10	0.240	13.440
Gesamtlängen				26.635
kg / d				D10 0.617
kg / d				16.434
Gesamtgewicht (kg)				16.434

Pos.	Stk.	Länge	Betonstahl D100	Bauzeit I/F	D16	31195 I20 d-Rev
1	96	20,5	5.745			351.550
2	96	20,5	5.745			351.550
3	84	16	3.330			
4	12	16	3.330			
5	42	16	5.460			
6	42	16	5.460			
7	18	20	5.830			
8	18	20	5.830			
9	18	20	5.830			
10	9	20	2.840			
11	6	20	4.590			27.000
12	9	20	2.840			
13	12	20	6.030			
14	6	20	4.590			
15	6	20	5.650			
16	384	16	8.945		362.880	33.940
17	16	16	1.850		38.590	
18	3	10	2.030	6.090		
Gesamt(Längen)			6.090	1256.210	1105.380	
kg m			10.617	216.132	208.476	382.000
			4.728	214.812	2730.289	
Gesamtwert (€)			5781.050			





Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 29.11.2019

Prüfnummer: 3119511-2-d Rev. 1

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 2.0 ohne Spannraum mit und ohne Auftrieb $\varnothing = 22,50$ m
Windzone 2, Geländekategorie II

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/BOB

Dokument:
3119511-2-
d_Rev.1_ENERCON_E-
138_EP3_(E2)-HT-160-ES-C-
01_FlmA_22,5m.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.



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



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



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.09.2019	Erstfassung
1	29.11.2019	Neue Revision Dokument [10]. Dokumente [1] bis [4] behalten ihre Gültigkeit. Redaktionelle Änderungen.

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	3
3.	Beschreibung	5
3.1.	Baustoffe.....	5
3.2.	Lastannahmen	5
3.3.	Baugrund	5
4.	Prüfumfang	5
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 m“, erstellt von grbv wind GmbH, 206 Seiten,
Projekt Nr. 50180-146, Rev. 1, Datum 2019-09-09
ENERCON Dokument Nr. D0858722-0
- [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 Ø22.50m, 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. a, Datum 2019-09-09
ENERCON Dokument Nr. D0867757-0
- [4] „Bewehrung Fundament Ø22.50m, 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. a, Datum 2019-09-09
ENERCON Dokument Nr. D0867758-0

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“, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E1 / E-138 EP3 E2, Hybridturm 160 m NH, Rotorblattdurchmesser 138 m, DIBt 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E20_001_XX_X, Rev. 0, Datum 2019-07-22
- [9] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E20, Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 153 Seiten,
Projekt Nr. 21683-E20, Rev. b, Datum 2018-09-12



Industrie Service

- [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“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 12 Seiten, Prüfnummer: 3119511-1-d, Rev. 2, Datum 2019-11-29
- [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/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /7/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

3. Beschreibung

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. 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 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² 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.

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/m² (BS-P) und 258 kN/m² (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 1 dieses Prüfberichts:

Es wurde eine neue Revision des Turmberichts [10] eingeführt. Dies hat keinen Einfluss auf die Bemessung des Fundaments.

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 be 'B. Ober'.

B. Ober

Der Leiter

A handwritten signature in green ink, appearing to be '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, 3rd 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:



Herausgeber	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
Urheberrechtshinweis	<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>
Geschützte Marken	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.
Änderungsvorbehalt	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.
Publisher	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
Copyright notice	<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>
Registered trademarks	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.
Reservation of right of modification	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

Dokument-ID Document ID	D0858723-2
Vermerk Note	Originaldokument Original document

Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2019-09-10	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

Ergänzende Angaben / Additional notes

Angaben zum Original (ger;eng) Original document details		Angaben zur Übersetzung (--) 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 Erdaufkast 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*

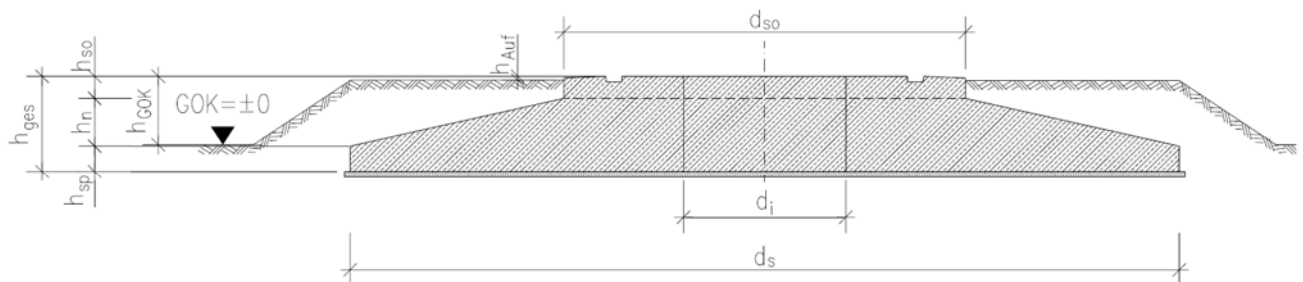
Auftrag / Datum

50180-146 / 2019-07-30

Order no./ date

2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

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



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:

Gesamtsystem / Total system (Turm und Gründung / Tower and foundation)	k_{φ,stat} 42000 MNm/rad
	k_{φ,dyn} 210000 MNm/rad

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	(γ_F / γ_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	(γ_F / γ_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/m³. 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/m³. 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.

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

required earth cover on the foundation body for the cover fill II:

$$h_{II} = \frac{1.8 \text{ [to/m}^3\text{]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} \times 0.51 \text{ m} \geq 0.51 \text{ m}$$

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

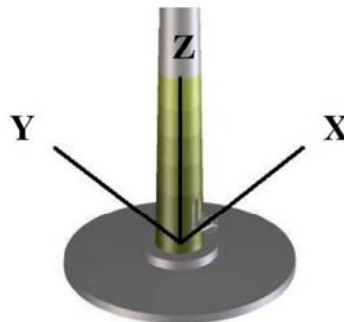
$$A_{\text{Auflast}} = \frac{\pi}{4} \times (22,50^2 - 10,90^2) = 304,29 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{erf}} = 373 \text{ m}^3$$

$$G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 373 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ to/m}^3 = 671,4 \text{ to}$$

$$h_I \text{ [m]} = \frac{\frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{vorh}}} - V_{\text{erf}}}{A_{\text{Auflast}}} = \frac{\frac{671,4 \text{ [to]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} - 373 \text{ [m}^3\text{]}}{304,29 \text{ [m}^2\text{]}}$$

7 Koordinatensystem / Coordinate system





Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 29.11.2019

Prüfnummer: 3119511-3-d

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

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/BOB

Dokument:
3119511-3-d_ENERCON_E-138_EP3_(E2)-HT-160-ES-C-01_FlmA_22,5m.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.



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



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



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	29.11.2019	Erstfassung

Inhaltsverzeichnis

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

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, 250 Seiten,
Projekt Nr. 50180-146, Rev. 1, Datum 2019-10-30
ENERCON Dokument Nr. D0886128-1
- [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. a, Datum 2019-11-14
ENERCON Dokument Nr. D0886116-0
- [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. a, Datum 2019-11-14
ENERCON Dokument Nr. D0886117-0
- [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. a, Datum 2019-11-15
ENERCON Dokument Nr. D0886118-0

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [6] „Übersichtsplan Gesamtturm NH=160m, Spannglieds. „SUSPA“, 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_001_XX_X, Rev. c, Datum 2019-11-08
ENERCON Dokument Nr. D0867756-2
- [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 Spannglieder, 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“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 12 Seiten, Prüfnummer: 3119511-1-d, Rev. 2, Datum 2019-11-29
- [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/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /7/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

3. Beschreibung

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 Fundamentrings wird mit einer unterseitig bündigen Fundamentsohle geschlossen. Zwischen Turmfuß und Sockelring ist eine Mörtelgleichschicht 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 ² 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.

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/m² 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 Spannanweisung [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.

6. Prüfergebnis

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

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

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

Auflagen für Herstellung und Errichtung

Baugrund

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



Industrie Service

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 [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.

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 blue ink, appearing to be 'B. Ober'.

B. Ober

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

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, 3rd 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:



Chief Eng.



Expert Eng.



3119511-3-e

Reviewed by TÜV SÜD

See Report dated: 2019-11-28

Munich 2019-11-28

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Wind Turbines



Herausgeber	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
Urheberrechtshinweis	<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>
Geschützte Marken	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.
Änderungsvorbehalt	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.
Publisher	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
Copyright notice	<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>
Registered trademarks	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.
Reservation of right of modification	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

Dokument-ID Document ID	D0889738-1		
Vermerk Note	Originaldokument Original document		
Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2019-11-13	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

Ergänzende Angaben / Additional notes

Angaben zum Original (ger;eng) Original document details		Angaben zur Übersetzung (--) 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" Fz,min "ohne Auftrieb" statt "mit Auftrieb" Foundation type adapted on cover sheet; in ch. 6.2 "design values" Fz,min "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

Flachgründung mit und ohne Auftrieb Ø 22,50 m

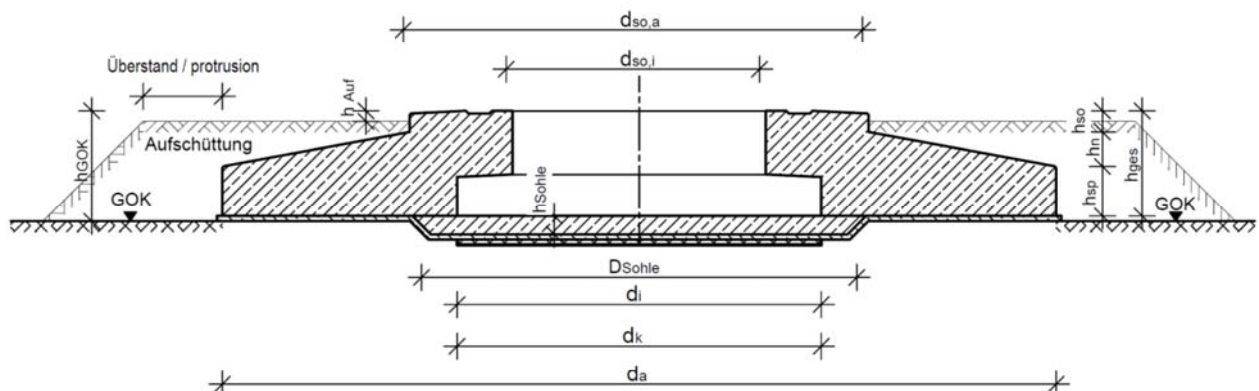
Auftrag / Datum 50180-146 / 2019-10-18

Design-specific structural analysis
Flat Foundation with and without Buoyancy
Order no. / date



2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

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



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:

Gesamtsystem / Total system (Turm und Gründung / Tower and foundation)	k_{φ,stat} 42000 MNm/rad
	k_{φ,dyn} 210000 MNm/rad

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/m³. 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/m³. 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.

Die planmäßige Wichte beträgt 1.8 to/m³. 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 scheduled value of the soil density is 1.8 to/m³. 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.

erforderliche Erdauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung II:

required earth cover on the foundation body for the cover fill II:

$$h_{II} = \frac{1.8 \text{ [to/m}^3\text{]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} \times 0.61 \text{ m} \geq 0.61 \text{ m}$$

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

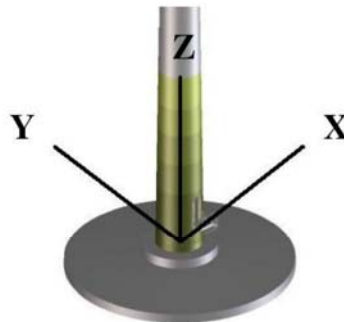
$$A_{\text{Auflast}} = \frac{\pi}{4} \times (22,50^2 - 10,90^2) = 304,3 \text{ m}^2$$

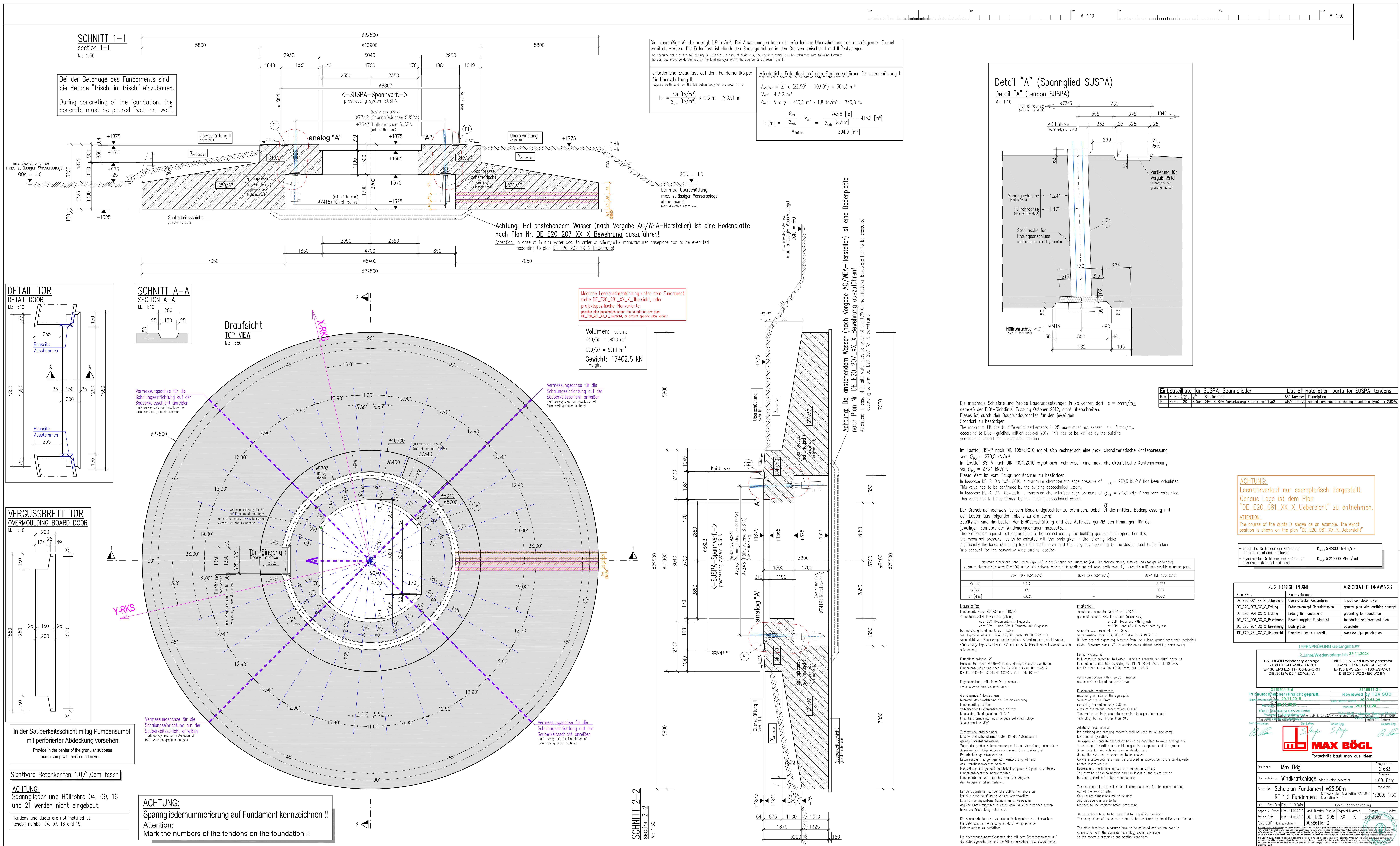
$$V_{\text{erf}} = 413,2 \text{ m}^3$$

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

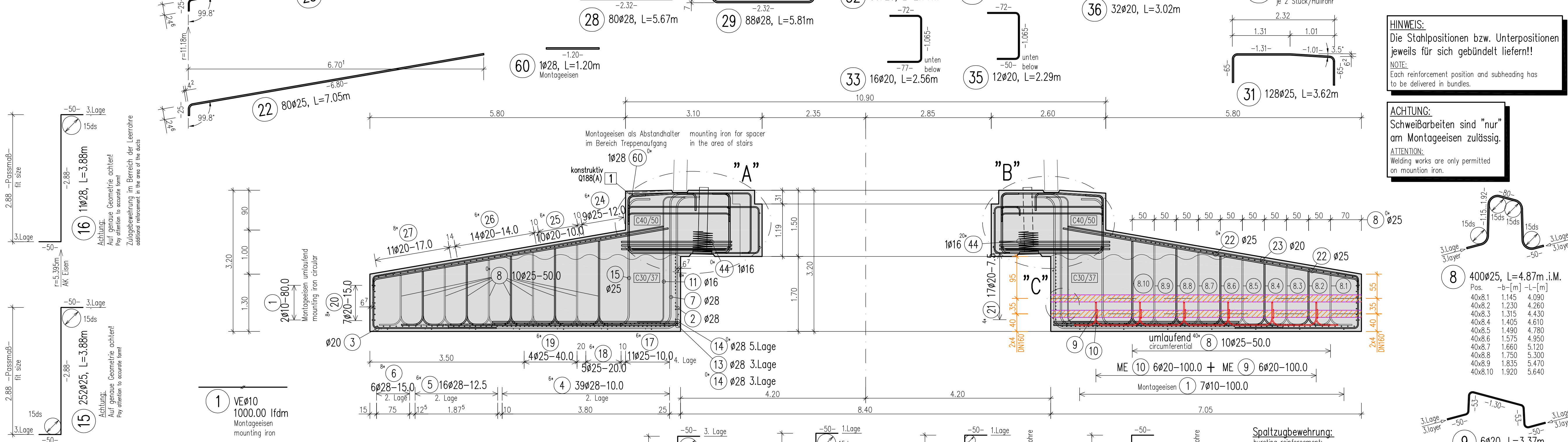
$$h_I \text{ [m]} = \frac{\frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{vorh}}} - V_{\text{erf}}}{A_{\text{Auflast}}} = \frac{\frac{743,8 \text{ [to]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} - 413,2 \text{ [m}^3\text{]}}{304,3 \text{ [m}^2\text{]}}$$

7 Koordinatensystem / Coordinate system

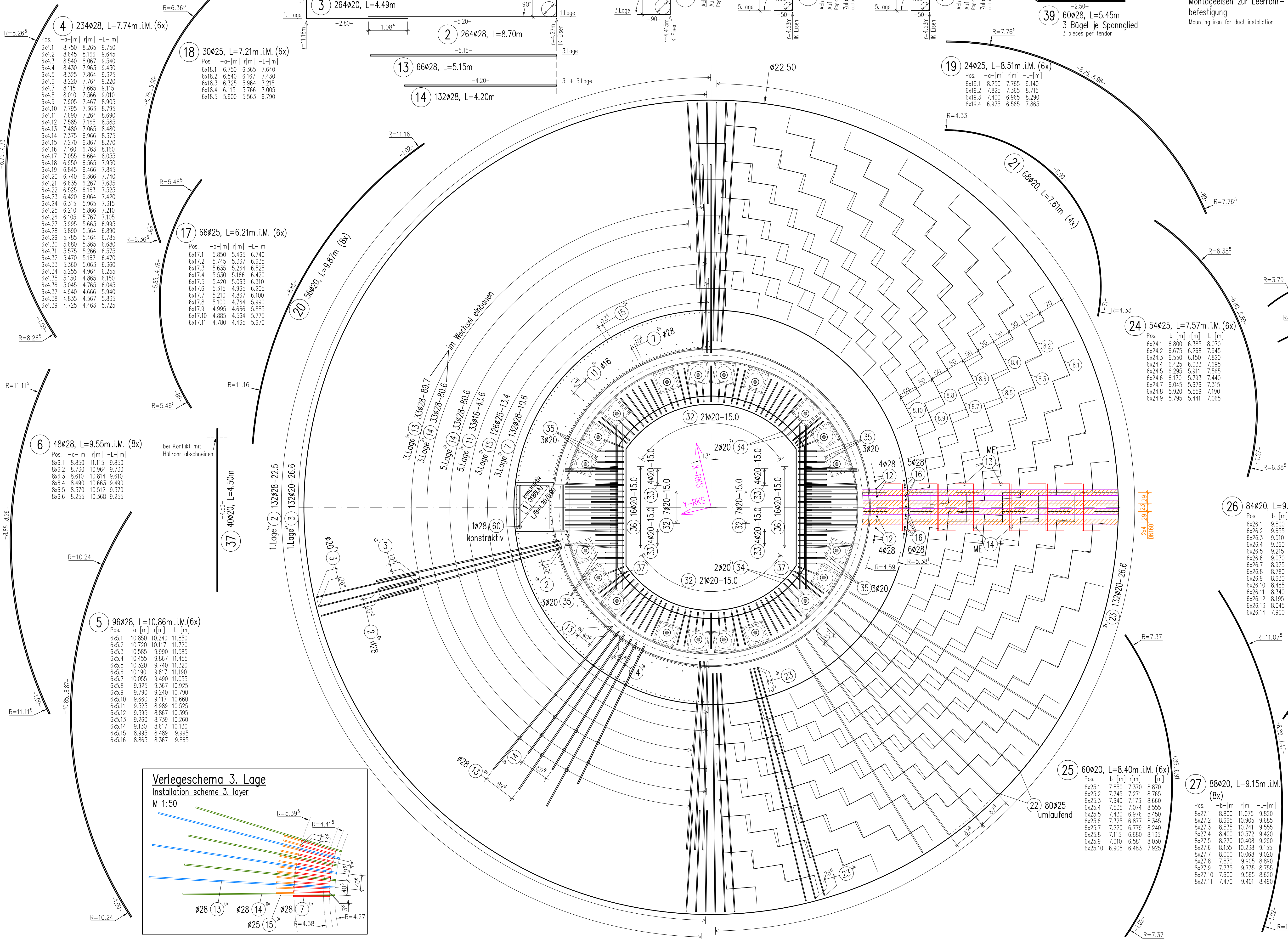




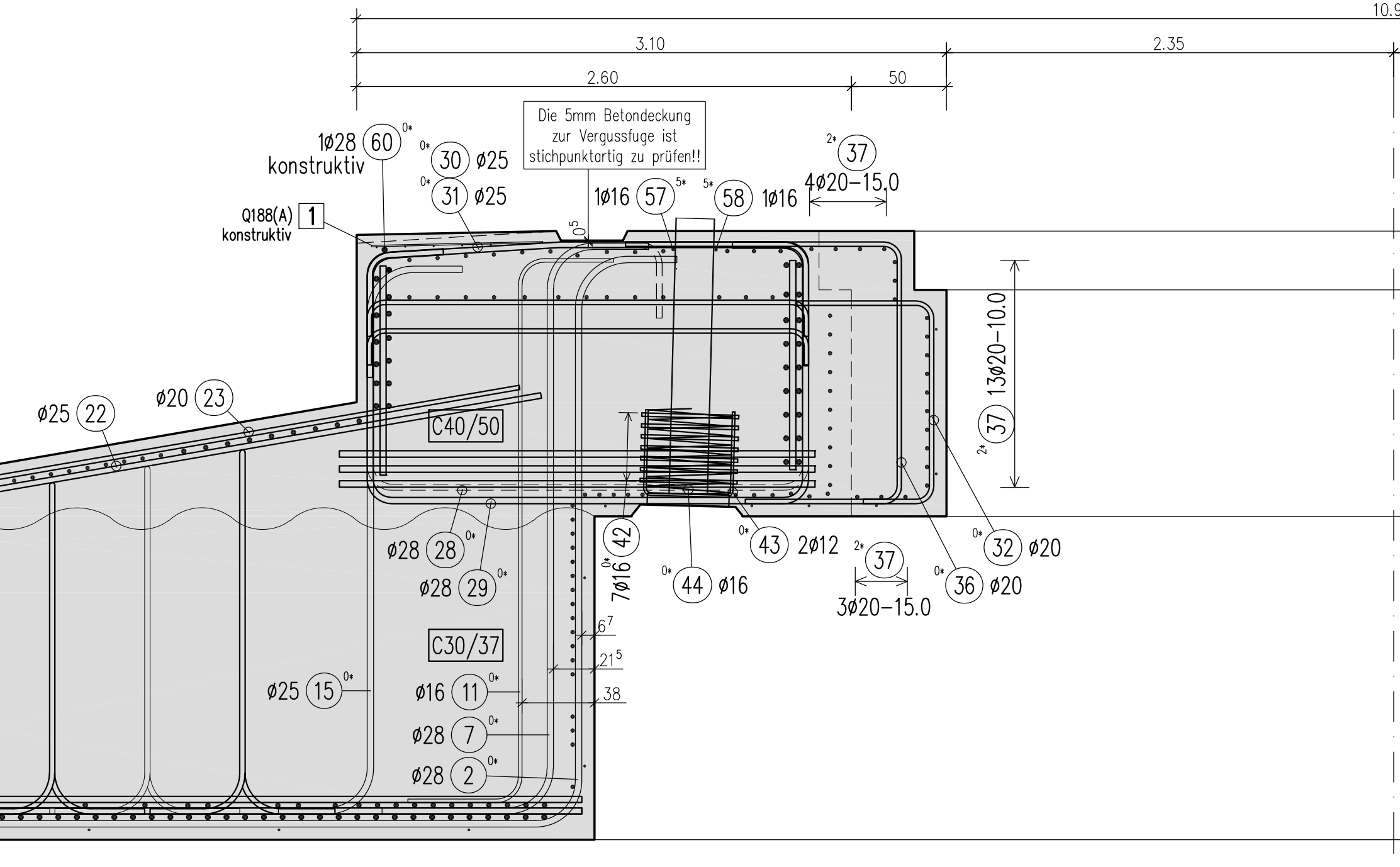
SCNITT 1-1
SECTION 1-1
M: 1:50



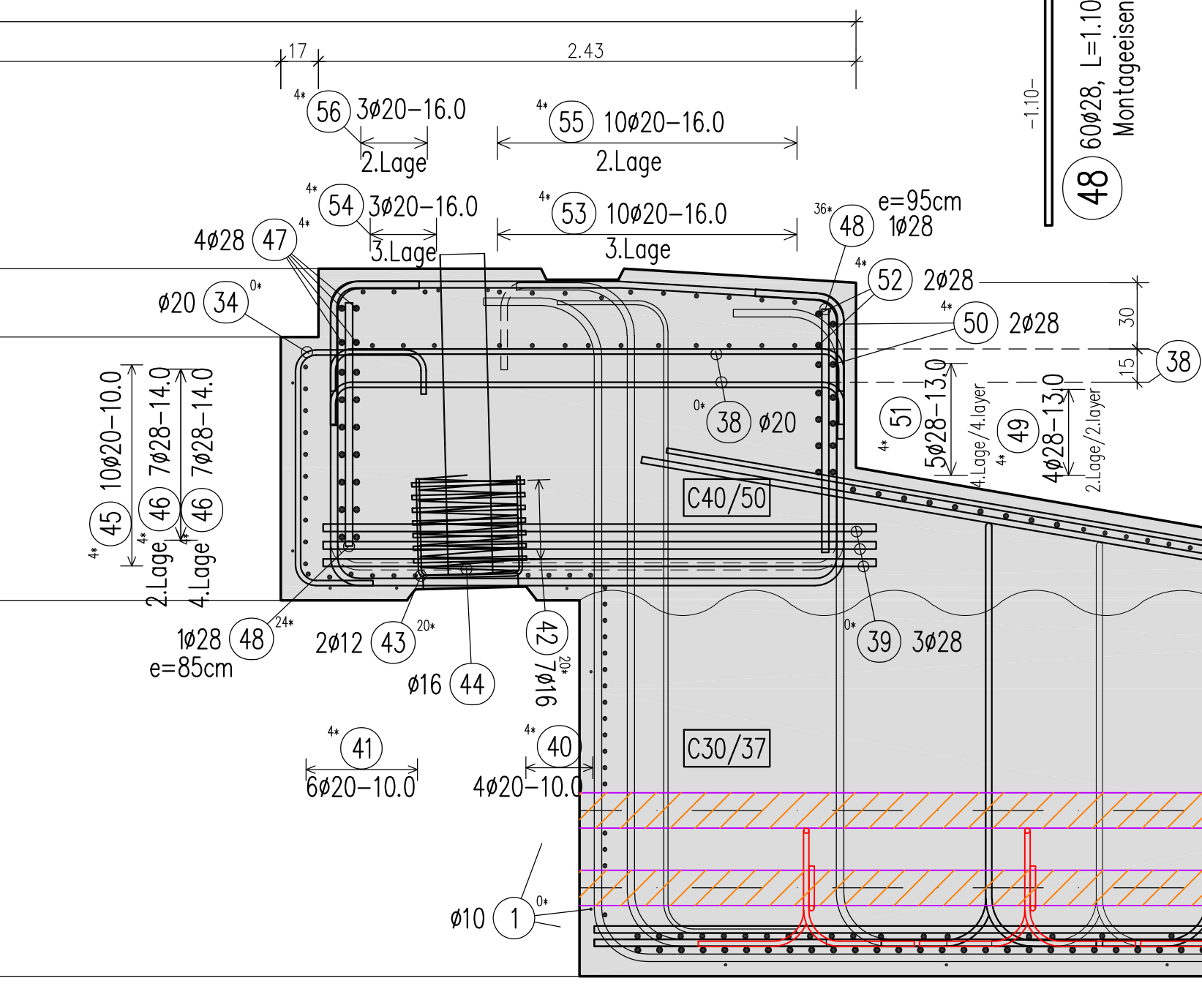
DRAUFSICHT FUNDAMENT
TOP VIEW FOUNDATION
M: 1:50



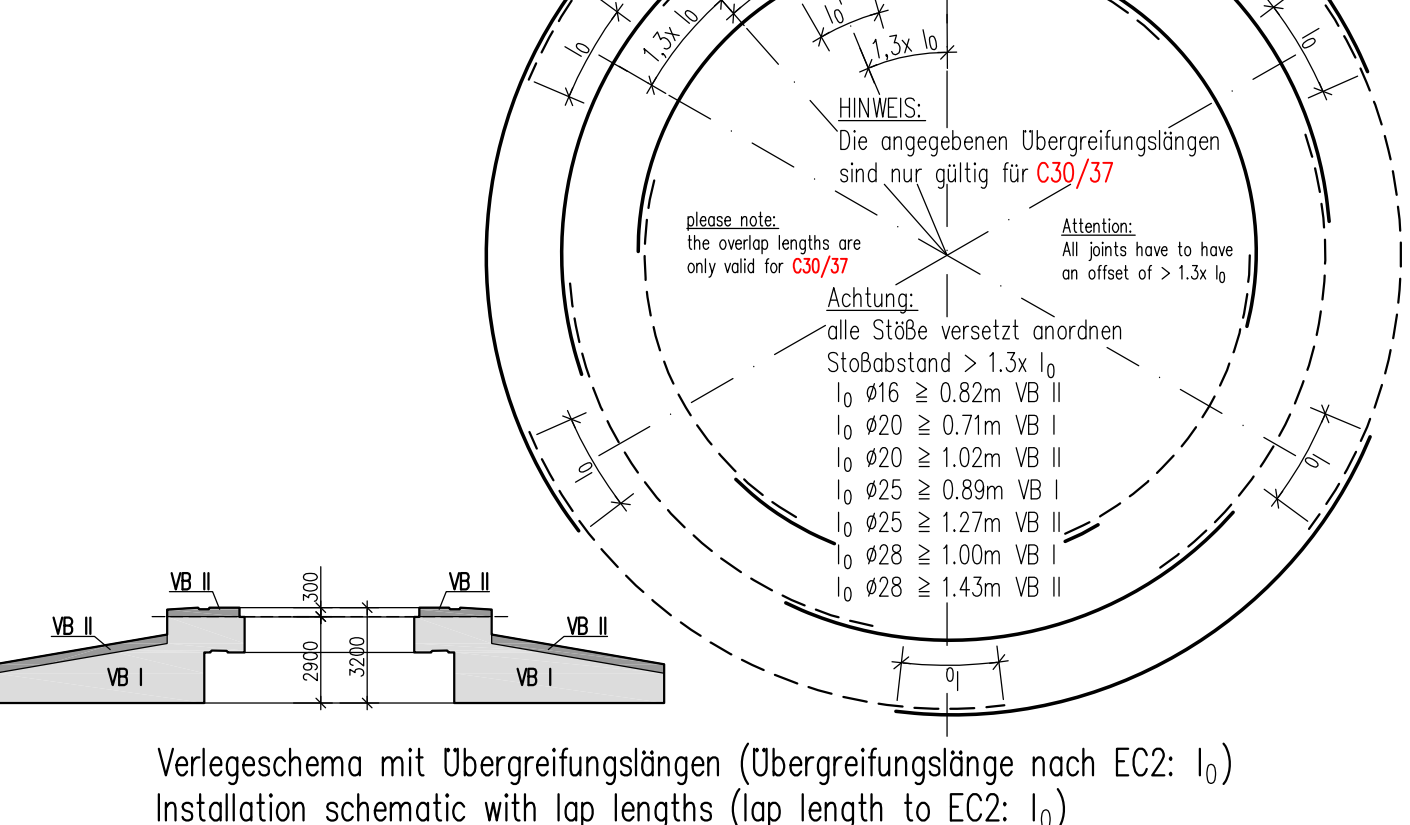
DETAIL "A"
DETAIL "A"
M: 1:25



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



SCHEMA
KREISBEWEHRUNG
SCHEMA
CIRCULAR REINFORCEMENT



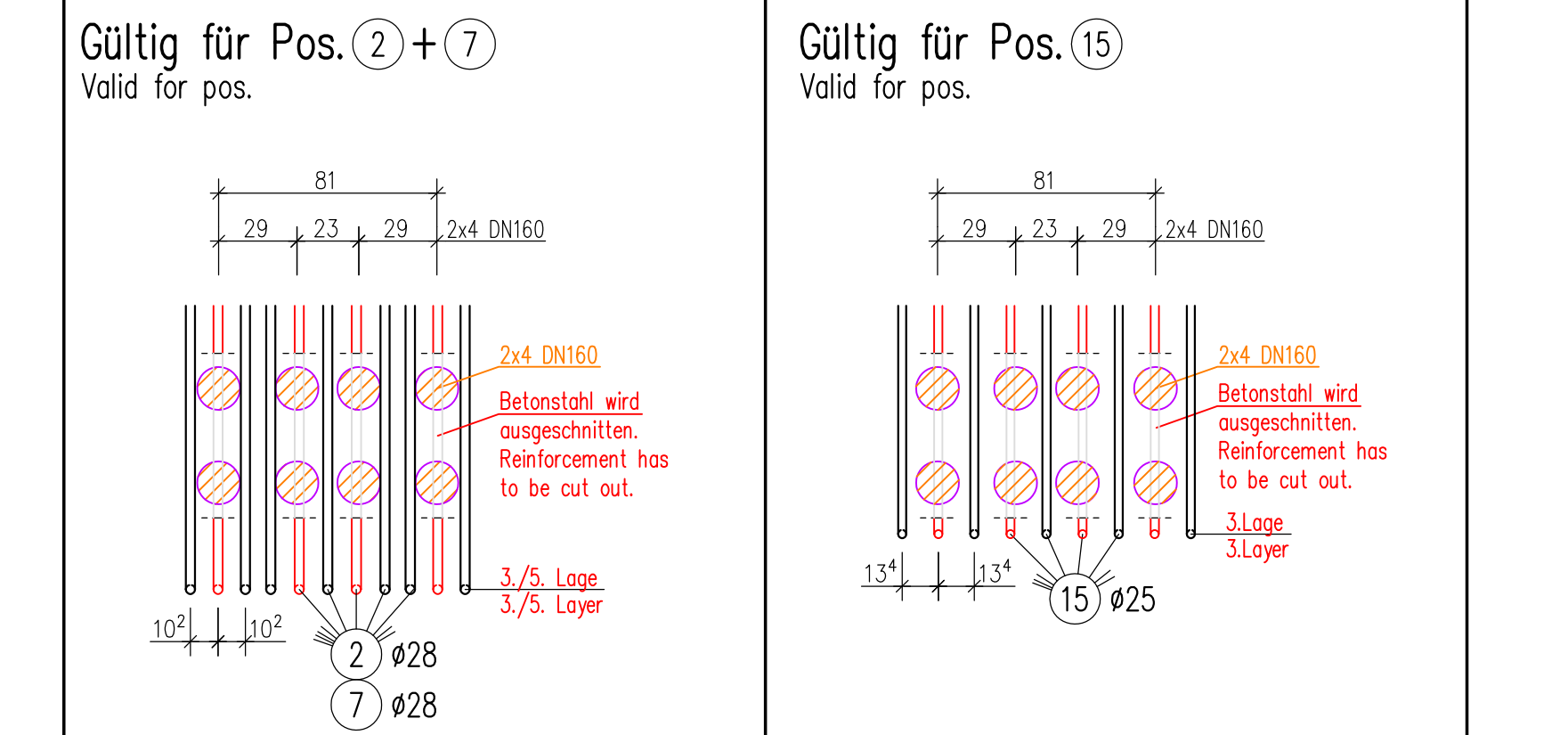
STAHLISTE Betonstahl B500B Bauteil: Treppe

Pos.	Stk.	d	Länge	308
6/8	1	28	1.200	1.200
Gesamtstrecken				
kg / m	208	4.930		
kg / d	16	5.796		
Gesamtgewicht (kg)				
5	796			

MATTENLISTE Betonstahl B500B Bauteil: Treppe

Pos.	Stk.	Typ	Länge	308
1	1	D188(A)	1.200	0.900
Gesamtstrecken				
kg / m	208	4.930		
kg / d	16	5.796		
Gesamtgewicht (kg)				
5	796			

DETAIL "C" BEWEHRUNG IM BEREICH DER LEEROHRE
DETAIL "C" REINFORCEMENT IN THE AREA OF THE DUCTS
M: 1:25



STAHLISTE Betonstahl B500B Bauteil: Treppe

Pos.	Stk.	d	Länge	308
1	1	28	1.200	1.200
Gesamtstrecken				
kg / m	208	4.930		
kg / d	16	5.796		
Gesamtgewicht (kg)				
5	796			

MATTENLISTE Betonstahl B500B Bauteil: Treppe

Pos.	Stk.	Typ	Länge	308
1	1	D188(A)	1.200	0.900
Gesamtstrecken				
kg / m	208	4.930		
kg / d	16	5.796		
Gesamtgewicht (kg)				
5	796			

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

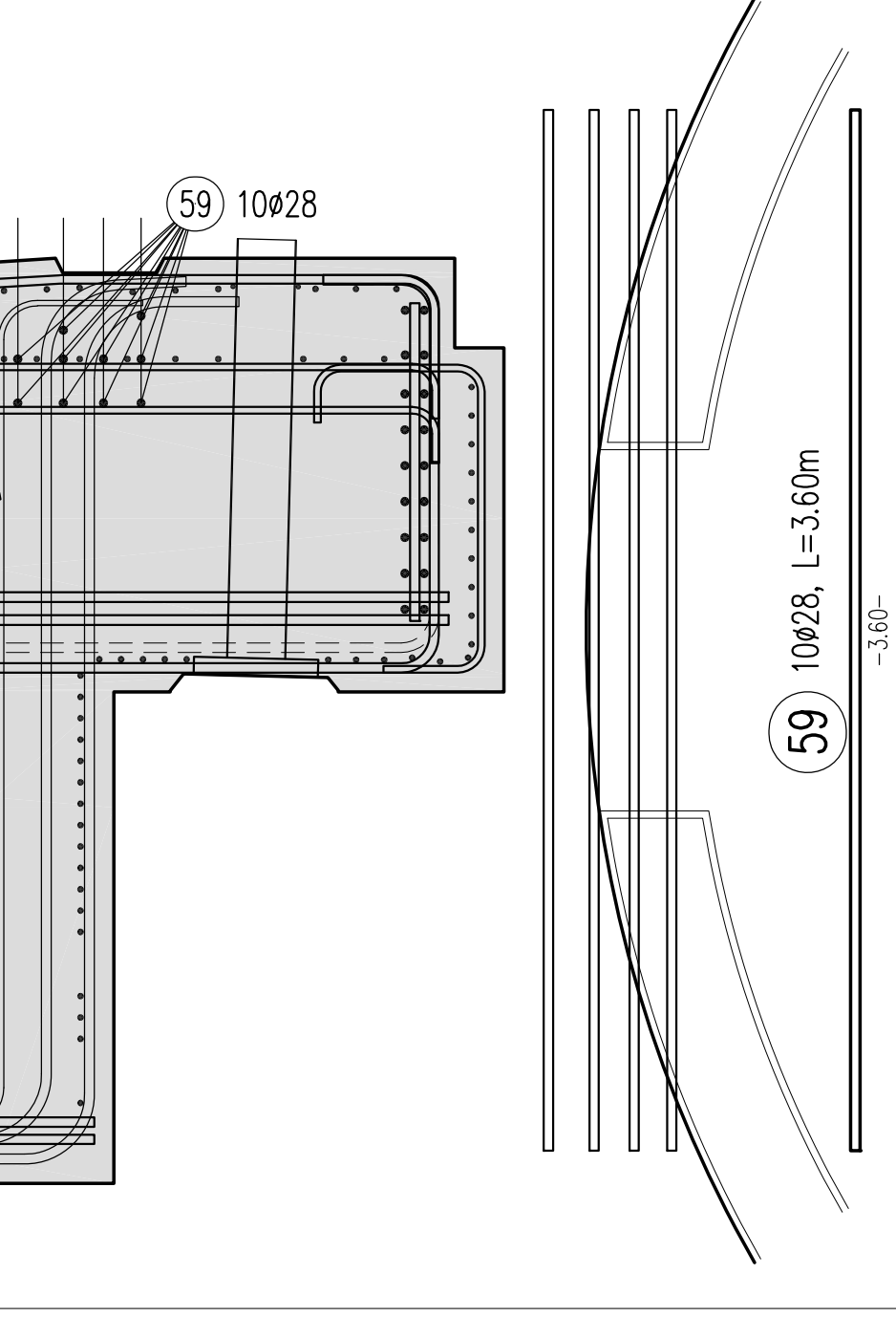
Mindestbiegegedrucktdurchmesser / Minimum bending diameter

Stärkeklasse	Stärke	Stärke	Stärke
Stärkeklasse	Stärke	Stärke	Stärke

BAUSTOFFE
BUILDING MATERIALS

Stärke	Stärke	Stärke	Stärke
Stärke	Stärke	Stärke	Stärke

ZUSATZBEWEHRUNG UNTER TUR
ADDITIONAL REINFORCEMENT UNDER THE DOOR
M: 1:25



Zugehörige Pläne
Associated drawings

Plan Nr.	Planzeichnung	Planzeichnung
DE_E20_001_XX_X_Ubersicht	Übersicht	Overview
DE_E20_002_XX_X_Erdung	Erdungsanordnung	Earthing arrangement
DE_E20_003_XX_X_Schalung	Schalung	Formwork
DE_E20_004_XX_X_Bewehrung	Bewehrung	Reinforcement
DE_E20_005_XX_X_Bewehrung	Bewehrung	Reinforcement
DE_E20_006_XX_X_Bewehrung	Bewehrung	Reinforcement
DE_E20_007_XX_X_Bewehrung	Bewehrung	Reinforcement
DE_E20_008_XX_X_Bewehrung	Bewehrung	Reinforcement

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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5% erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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 Stellungnahme abgedeckt.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Umgebungsbedingungen

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

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	DIBt WZ 2 GK II	IEC III A
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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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.

	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-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°
Rotornennndrehzahl 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%

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb 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: $k_{\phi,dyn}$	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.

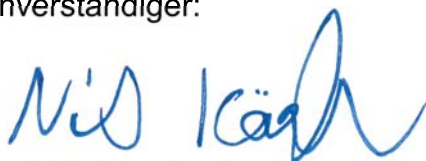
6 Auflagen

- 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 ± 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 ENERCON E-138 EP3
- Sicherheitssystem und Handbücher-

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

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

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	09.09.2019	Erstausgabe	Raupach

Inhalt

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

1 Eingereichte Unterlagen

1.1 Geprüfte Unterlagen

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

- [1.1.9] ENERCON GmbH
Betriebsanleitung
ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 / 3500 kW
Dokument Nr.: D0727008-0
Rev. 0, Datum 12.09.2018

- [1.1.10] ENERCON GmbH
Spezifikation / System Requirement Specification E-138 EP3 Scoping
Dokument Nr.: D0634801-1
Rev. 1, Datum 09.02.2018

- [1.1.11] ENERCON GmbH
Steuerungsplattform EP-CS-02 - Safety Requirement Specification -
Dokument Nr.: D0496837-0
Rev. 0, Datum 22.02.2017

- [1.1.12] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Fehlermodes
Control System E-138 EP3
Dokument Nr.: D0742307-0
Rev. 0, Datum 28.09.2018

- [1.1.13] ENERCON GmbH
Prototypentestplan E-138 EP3
Dokument Nr.: D0717805-0
Rev. 0, Datum 25.06.2018

- [1.1.14] ENERCON GmbH
Wartungsanleitung Hauptwartung Windenergieanlage E-138 E3
Dokument Nr.: D0768894-2
Rev. 2, Datum 28.05.2019

- [1.1.15] ENERCON GmbH
Betriebsanleitung ENERCON Windenergieanlage E-138 E3 / 3500 kW
Dokument Nr.: D0727008-0
Rev. 0, Datum 12.09.2018

- [1.1.16] ENERCON GmbH
Inbetriebnahmeanleitung Windenergieanlage E-138 EP3 (EP3-CS-02)
Dokument Nr.: D0761538-0
Rev. 0, Datum 26.10.2018

- [1.1.17] ENERCON GmbH
Aufbauanleitung Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-16-015
Rev. 003, Datum 26.10.2018

- [1.1.18] ENERCON GmbH
Montageanleitung Vormontage und Montage Gondel
Windenergieanlage E-138 EP3
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-18-073
Rev. 003, eingereicht am 06.11.2018
- [1.1.19] ENERCON GmbH
Arbeitsanleitung Verkabelung Gondel
Windenergieanlage E-138 EP3
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-18- Rev000 / DC
Rev. 0, Datum 05.11.2018
- [1.1.20] ENERCON GmbH
Verladehandbuch E-126/E-138 EP3
Dokument Nr.: PLM-TES-DC032-VH_E-126_E-138_EP3-Rev000de-de.
Rev. 0, Datum 26.02.2019
- 1.2 Zugehörige Unterlagen**
- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3
Dokument Nr.: D0556048-5
Rev. 5, Datum 26.03.2018
- [1.2.2] ENERCON GmbH
EP-SCS-02 Übersichtsschaltplan / overview circuit diagram
Dokument Nr.: D0735453-0
Rev. 0, Datum 25.09.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH
V&V Plan Windenergieanlage E-138 EP3 mit Safety-Steuerung EP-SCS-02
Dokument Nr.: D0733203-1
Rev. 1, Datum 14.11.2018
- [1.2.4] ENERCON GmbH
Projekt: Enersafe (Safety Report Bachmann Steuerung)
Enersafe_Report_2019_08_09.pdf
Eingereicht am 13.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH
SysAD E-138 EP3 (DRAFT)
Dokument Nr.: D0679972-4
Rev. 4, ohne Datum

- [1.2.6] ENERCON GmbH
Überdrehzahlabschaltungen
Dokument Nr.: D0714684-0
Eingereicht am 15.06.2018

- [1.2.7] ENERCON GmbH
Erkennung von nicht durchgeführter Azimutverstellung
Dokument Nr.: D0801103-0 / DD
Eingereicht am 06.03.2019

- [1.2.8] ENERCON GmbH, WRD GmbH
Stellungnahme Aufbauanleitung Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul
Dokument Nr.: D0828100-0 / DZ
Datum 22.05.2019

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Fassung Oktober 2012, Korrigierte Fassung März 2015

- [2.2] Internationale Richtlinie IEC 61400-1:
"Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen", dritte Edition, August 2005

3 Einführung

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

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Turbinen Konfiguration

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

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

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

4.1: Anlagen Konfiguration

4.2 Temperaturvariante

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

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

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

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

4.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

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

Die Überwachung durch das Sicherheitssystem umfasst die folgenden Funktionen:

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

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

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

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

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

4.4 Mechanische Bremse

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

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethodik

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

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

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

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

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

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

5.2 Anmerkungen

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

5.3 Prüfergebnisse

5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

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

5.3.2 Qualitätssicherung

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

5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

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

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

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

5.3.4 Handbücher

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

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

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

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

5.4 Schnittstellen

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

6 Auflagen und Hinweise

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

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

7 Schlussfolgerung

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

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

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

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

erstellt

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

Dipl.-Ing. O. Raupach

freigegeben:

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

Dipl.-Ing. L. Klüppel

Gutachtliche Stellungnahme

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

- Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 -

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

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

Anlagenhersteller ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Dokumentation: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 17 Seiten.

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

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

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

Zeichnungen

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

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

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

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

[1.1.61] "Rotor blade bonding, preform segment 3 glue cap TE and LE"
Zeichnungs-Nr.: R1265.140.10001-2, Rev. 2, Datum: 06.12.2018, 1 Seite

[1.1.62] "Belegungsplan, Serrations E-138 EP3-RB-01"
Dokument-Nr.: D0635175-0, Rev. 0, Datum: 15.03.2018

[1.1.63] "Fertigungsdokumentation, Wickelplan für das Preform-Segment 1 des E-126
EP3-RB-05 im Nasswickel-Verfahren mit 620g/m²-Gelege (318mm) auf dem
Einzel-Wickelkern"
Dokument-Nr.: D0673322-0, Rev. 0, Datum: 12.02.2018

[1.1.64] "Fertigungsdokumentation, Wickelplan für das Preform-Segment 3 des E-126
EP3-RB-05 im Nasswickel-Verfahren mit 620g/m²-Gelege (318mm) auf dem
Einzel-Wickelkern"
Dokument-Nr.: D0673323-0, Rev. 0, Datum: 09.02.2018

[1.1.65] "Fertigungsdokumentation, Wickelplan für das Preform-Segment 2 des E-126
EP3-RB-05 im Trockenwickel-Verfahren mit 620g/m²-Gelege (318mm) auf dem
Einzel-Wickelkern"
Dokument-Nr.: D0674436-0, Rev. 0, Datum: 18.02.2018

Materialtests und -spezifikationen

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

Spezifikationen

[1.1.67] "Spezifikation, Rotorblatt E-138 EP3-RB-01"
Dokument-Nr.: D0684414-1, Rev. 1, Datum: 21.02.2019

[1.1.68] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante
Mindestwerte für das Rotorblatt E138 EP3-RB-01"
Dokument-Nr.: D0650829-3, Rev. 3, Datum: 22.02.2019

[1.1.69] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante
Mindestwerte für Rotorblätter allgemein"
Dokument-Nr.: D0223764-2, Rev. 2, Datum: 11.01.2019

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

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

Handbücher

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

Blattwurzel

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

1.2 Dazugehörige Dokumente

Auslegungslasten

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

Design Basis

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

Statischer Rotorblatttest

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

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

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

Zeichnungen

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

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

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

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

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

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

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

Handbücher

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

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

2 Prüfgrundlagen

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

Anerkannte Regelwerke

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

3 Einleitung

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

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

4 Beschreibung der Komponente

4.1 Klimatische Bedingungen

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

4.2 Beschreibung der Komponentenparameter

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

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

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

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

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

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

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

Table 4.1: Abgedeckte Konfigurationen

4.3 Designlasten

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

Die Lastannahmen sind in nach der folgenden Tabelle spezifiziert:

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

Table 4.2: Lastannahmen

In den Lastannahmen wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

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

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

4.4 Materialien

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

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethode

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Der Nachweis der Anbindung des Heizungssystems wurde auf Plausibilität geprüft.

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

5.2 Anmerkungen

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

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

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

5.3 Ergebnisse

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

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

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

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

5.4 Schnittstellen

Die folgenden Schnittstellen sollen betrachtet werden:

Für den Maschinenbau und die Betriebshandbücher:

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

6 Auflagen

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

7 Schlussfolgerung

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

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

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

Sachverständige(r):

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "M. Passow", written over a horizontal line.

Dipl.-Ing. M. Passow

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "J. C. Román", written over a horizontal line.

Dipl.-Ing./M.Sc. J. C. Román

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3

- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -

TÜV NORD Report-Nr.: 8115 022 604 - 5 D Rev. 0

Prüfobjekt: Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3

Prüfumfang:

- DIBt 2012
- DIN EN 61400-1

Hersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 29 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	06.09.2019	Erste Fassung	H. Grafe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Mitgeltende Dokumente	16
2	Prüfgrundlagen	16
3	Einleitung	18
4	Beschreibung der Windenergieanlage	18
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen	18
4.2	Klimatische Bedingungen	18
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten	18
5	Durchgeführte Prüfungen	23
5.1	Prüfmethode	23
5.2	Anmerkungen	23
5.3	Prüfbemerkungen	24
5.4	Schnittstellen	28
6	Auflagen	28
7	Schlussfolgerung	28

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

ENERCON E-138 EP3

[1.1.1] ENERCON
EG/EU-Konformitätserklärung
Dokument-Nr.: D0376121-12
Rev. ENTWURF, Datum: 25.01.2019 (empfangen)

[1.1.2] ENERCON
Zeichnung Nacelle EP3.00.106-1
Dokument-Nr.: D0613870-0
Rev. 1, Datum: 19.06.2017

Generator

[1.1.3] ENERCON
Kurzbeschreibung Generator E-138 EP3-GE-01
Dokument-Nr.: D0753860-0
Rev. 0, Datum: 04.10.2018

[1.1.4] ENERCON
Zeichnung Leistungsschild E-138 EP3-GE-01
Dokument-Nr.: D0755225-0
Rev. 0, Datum: 05.10.2018 (empfangen)

[1.1.5] ENERCON
E-138 EP3-GE-01 Thermisches Verhalten und Prüfung nach DIN 60034
Dokument-Nr.: D0753852-0
Rev. 0, Datum: 03.10.2018

[1.1.6] ENERCON
Herstellereklärung, Drehzahlauslegung des Generator-Rotors vom Typ
E-138 EP3-GE-01
Dokument-Nr.: D0753870-0
Rev. 0, Datum: 28.09.2018

[1.1.7] ENERCON
Fertigungs- und Prüfprotokolle Statorring E-138 EP3-GE-01
Dokument-Nr.: FPP_1041_E-138_EP3-GE-01_de-de_Rev001_Statorring
Rev. 1, Datum: 14.12.2018

[1.1.8] ENERCON
Fertigungs- und Prüfprotokolle E-138 EP3-GE-01 Polschuhe
Dokument-Nr.: FPP_1039_E-138_EP3-GE-01_de-de_Rev002_Polschuhe
Rev. 2, Datum: 18.01.2019

Umrichter

- [1.1.9] ENERCON
Technische Beschreibung 690V B2B Converter PC17034
Dokument-Nr.: D0409186-0
Rev. 0, Datum: 09.11.2018

- [1.1.10] ENERCON
Datenblatt PC17034 B2B-Umrichter (Artikel-Nr. 663699)
Dokument-Nr.: D0798538-0 / DA
Rev. 0, Datum: 06.03.2019 (empfangen)

- [1.1.11] ENERCON
Technische Information Kühlung Leistungsschrank B2B PC17034
Dokument-Nr.: D0754087-0 / DA
Rev. -, Datum: 01.10.2018

- [1.1.12] ENERCON
Zeichnung Leistungsschrank mit Prime-Pack Modulen – Baugruppenüber-
sicht
Dokument-Nr.: D0749015-0
Rev. 0, Datum: 17.09.2018

- [1.1.13] ENERCON
Schaltplan Leistungsschrank
Dokument-Nr.: D0604831-5
Rev. 5 (ENTWURF), Datum: 12.12.2018

- [1.1.14] ENERCON
Typenschild 690V B2B Converter PC17034
Dokument-Nr.: D0787928-0
Rev. 0, Datum: 29.01.2019

- [1.1.15] ENERCON
Messbericht PC17034 Erwärmungslauf TRL6
Dokument-Nr.: D0817165-0
Rev. 0, Datum: 17.04.2019

- [1.1.16] ENERCON
Prüfprotokoll – Leistungsschrank B2B (Leistungstest)
Seriennummer: 15-10
Rev. 0, Datum: 26.07.2018

- [1.1.17] ENERCON
Versuchsprotokoll B2B Chopper eingebaut im Versuchsträger
Dokument-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD
Rev. 0, Datum: 01.02.2016

- [1.1.18] ENERCON
Versuchsprotokoll Kurzschluss DC-seitig – Version Thyristor
Dokument-Nr.: D0435031xxxxxx-0/DD
Rev. 0, Datum: 01.02.2016

Blitzschutz

- [1.1.19] ENERCON
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Blitzschutz
Dokument-Nr.: D0260891-7
Rev. -, Datum: 16.02.2018
- [1.1.20] ENERCON
Technische Information Messung des Erdungswiderstands
Dokument-Nr.: PLM-EWES-DC008-Messung des Erdungswiderstands-
Rev006de-de
Rev. 6, Datum: 30.08.2016
- [1.1.21] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan – Flachgründung mit Auftrieb
Dokument-Nr.: D0689733-0
Rev. -, Datum: 28.03.2018
- [1.1.22] ENERCON
Technische Beschreibung Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-138 EP3-
RB-01
Dokument-Nr.: D0650138-0
Rev. 0, Datum: 08.01.2018
- [1.1.23] TÜV Süd
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem
Prüfnummer: 2632058-31-d
Rev. 0, Datum: 30.08.2017
- [1.1.24] ENERCON
Blitzschutzsystem Zusammenbau
Dokument-Nr.: R1381.190.10000
Rev. 0, Datum: 21.03.2018
- [1.1.25] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile
Dokument-Nr.: R1381.190.10001
Rev. 1, Datum: 28.08.2018
- [1.1.26] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel
Dokument-Nr.: R1381.190.10002
Rev. 2, Datum: 16.10.2018

- [1.1.27] ENERCON
Blitzschutzsystem Rezeptor 70
Dokument-Nr.: R01.190.015
Rev. 2, Datum: 25.11.2014

- [1.1.28] ENERCON
Blitzschutzsystem Rezeptor 70-45 mm
Dokument-Nr.: R01.190.023
Rev. 2, Datum: 25.11.2014

- [1.1.29] ENERCON
Verbindung Kontaktmutter
Dokument-Nr.: R01.190.10001
Rev. 0, Datum: 04.09.2015

- [1.1.30] ENERCON
Kabelhalter Kabelklemmprofil
Dokument-Nr.: R01.190.10006
Rev. 2, Datum: 15.08.2017

- [1.1.31] ENERCON
Blitzschutzsystem Omega Profil 500mm
Dokument-Nr.: R01.190.10029
Rev. 1, Datum: 21.12.2017

- [1.1.32] ENERCON
Blitzschutzsystem Kontaktschraube
Dokument-Nr.: R01.190.10032
Rev. 0, Datum: 07.11.2016

- [1.1.33] ENERCON
Kabelhalter Kabelklemmprofil 55 mm
Dokument-Nr.: R01.190.10033
Rev. 1, Datum: 15.08.2017

- [1.1.34] ENERCON
Blitzschutzsystem Kablesicherung Lasteinleitungsrippe
Dokument-Nr.: R01.190.10034
Rev. 1, Datum: 09.10.2017

- [1.1.35] ENERCON
Blitzschutzsystem Kabelschutz Lasteinleitungsrippe
Dokument-Nr.: R01.190.10045
Rev. 0, Datum: 16.01.2018

- [1.1.36] ENERCON
RBL Schale Druck- und Saugseite GFK Einleger Rezeptor
Dokument-Nr.: R1031.130.10010
Rev. 0, Datum: 06.12.2016

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

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

Schleifringübertrager

- [1.1.39] ENERCON
Zeichnung Schleifring 79mm 3x70mm² Axialanschluss
Dokument-Nr.: EP3.08.107-0
Rev. -, Datum: 26.06.2018

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

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

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

Elektrischer Azimutantrieb

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

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

- [1.1.45] Ruckh Elektromotorenbau
Typenblatt Ruckh TRB 112L-4 PT 100 Brake für ENERCON E115
Dokument-Nr.: D0236907-2; ENERCON Dokument-Nr.: D0706335-0
Rev. 1.2, Datum: 23.05.2018

- [1.1.46] Ruckh Elektromotorenbau
Erklärung der EG-Konformität TRB112M-4 PT100 Brake E115
ENERCON Dokument-Nr.: D0706336-0
Rev. -, Datum: 01.02.2018

- [1.1.47] Ruckh Elektromotorenbau
Zeichnung E115 Azimut-Antrieb ohne Pulsor
Dokument-Nr.: 227.0000010.01; ENERCON Dokument-Nr.: D0706338-0
Rev. -, Datum: 25.05.2018 (empfangen)

- [1.1.48] ENERCON
Messbericht Azimutmotor E-101/ E-115 Ruckh Prototyp 2
Dokument-Nr.: D0249287
Rev. 0, Datum: 30.04.2010

- [1.1.49] Emod Motoren
Motordatenblatt B 112M/4 WU
ENERCON Dokument-Nr.: D0393294-0
Rev. -, Datum: 30.04.2014

Elektrischer Pitchantrieb

- [1.1.50] ENERCON
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Elektrisches Blattverstellungssystem
Dokument-Nr.: D0744064-0
Rev. 0, Datum: 25.09.2018

- [1.1.51] ENERCON
Spezifikation Blattverstellmotor EP3/3
Dokument-Nr.: D0645627-3
Rev. 3, Datum: 09.08.2018

- [1.1.52] ENERCON
Zeichnung Blattverstellmotor DC-5.6kW-38x58-FF265-65
Dokument-Nr.: EP3.01.072-0
Rev. 0, Datum: 09.02.2018

- [1.1.53] Emod Motoren
Massblatt für Motor GKF 132M B5
Dokument-Nr.: B0613.22.112395-00; ENERCON Dokument-Nr.: D0681890-0
Rev. 0, Datum: 22.02.2018

- [1.1.54] Emod Motoren
Datenblatt DC Pitchmotor ENERCON EP3/3
ENERCON Dokument-Nr.: D0796560-0
Rev. 3, Datum: 22.10.2018

- [1.1.55] Ruckh Elektromotorenbau
Typenblatt GN 132/4 EP3/3 EP3/3 Pitch
Dokument-Nr.: GN132/4 EP3/3; ENERCON Dokument-Nr.: D0674009-0
Rev. 1.0, Datum: 01.02.2018

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

- [1.1.57] Ruckh Elektromotorenbau
Zeichnung EP3/3 Pitch
Dokument-Nr.: 230.000089.01; ENERCON Dokument-Nr.: D0674002-0
Rev. -, Datum: 01.02.2018

Back-up System, Ultrakondensatoren

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

- [1.1.59] Nesscap
Data sheet 2.7V-3000F, M12/M12 T-Type
Dokument-Nr.: 20150316; ENERCON Dokument-Nr.: D0390022-0
Rev. 1, Datum: 01.06.2018 (empfangen)

Kabel und elektrische Ausrüstung

- [1.1.60] ENERCON
Auslegung Turmkabel E-138 EP3
Dokument-Nr.: D0709537-0
Rev. 0, Datum: 15.11.2018 (empfangen)

- [1.1.61] Prysmian
Data sheet PROTOTHEN-X (N)A2XSY
ENERCON Dokument-Nr.: D0629505-0
Rev. -, Datum: 31.07.2017

- [1.1.62] Prysmian
Data sheet WINDFLEX GLOBAL EMC S-3GDSHOEU
ENERCON Dokument-Nr.: D0630109-0
Rev. -, Datum: 04.09.2017

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

Schaltpläne

- [1.1.64] ENERCON
Übersichtsschaltplan E-138 EP3
Dokument-Nr.: D0665240-1
Rev. 1, Datum: 23.04.2019
- [1.1.65] ENERCON
Blattregelschrank
Dokument-Nr.: D0714434-2
Rev. 2, Datum: 11.02.2019
- [1.1.66] ENERCON
Blattrelaisschrank
Dokument-Nr.: D0709944-2
Rev. 2, Datum: 14.02.2019
- [1.1.67] ENERCON
Blattsicherheitsschrank
Dokument-Nr.: D0742995-1
Rev. 1, Datum: 04.12.2018
- [1.1.68] ENERCON
Kondensatoreinheit Rotor
Dokument-Nr.: D0517670-1
Rev. 1, Datum 27.01.2017
- [1.1.69] ENERCON
Rotorunterverteilung
Dokument-Nr.: D0713816-2
Rev. 2, Datum: 07.12.2018
- [1.1.70] ENERCON
Schleifringübertrager
Dokument-Nr.: D0749133-1
Rev. 1, Datum: 19.12.2018
- [1.1.71] ENERCON
Überdrehzahlschalterbox
Dokument-Nr.: D0787934-0
Rev. 0, Datum: 28.01.2019

- [1.1.72] ENERCON
Überspannungsschutz Rotor
Dokument-Nr.: D0717699-0
Rev. 0, Datum: 25.06.2018

- [1.1.73] ENERCON
Unterverteilung Blattverstellung
Dokument-Nr.: D0653208-2a
Rev. 2, Datum: 12.06.2018

- [1.1.74] ENERCON
Unterverteilung Rotorsensorik
Dokument-Nr.: D0716502-1
Rev. 1, Datum: 11.09.2018

- [1.1.75] ENERCON
Gondelsteuerschrank
Dokument-Nr.: D0758518-1
Rev. 1, Datum: 07.03.2019

- [1.1.76] ENERCON
Akkuschrank
Dokument-Nr.: D0665360-0
Rev. 0, Datum: 16.01.2018

- [1.1.77] ENERCON
Azimutsteuerung
Dokument-Nr.: D0685894-3
Rev. 3, Datum: 04.03.2019

- [1.1.78] ENERCON
Erregersteller
Dokument-Nr.: D0638320-0
Rev. 0, Datum: 10.07.2018

- [1.1.79] ENERCON
Fehlerstromüberwachung Generator
Dokument-Nr.: D0743703-1
Rev. 1, Datum: 17.12.2018

- [1.1.80] ENERCON
Freischaltbox Blattheizung
Dokument-Nr.: D0722985-1
Rev. 1, Datum: 06.12.2018

- [1.1.81] ENERCON
Hauptverteilung Gondel
Dokument-Nr.: D0765814-1a
Rev. 1a, Datum: 19.01.2019

- [1.1.82] ENERCON
Schaltschrank el. Grundversorgung Gondel
Dokument-Nr.: D0724906-2
Rev. 2, Datum: 16.11.2018

- [1.1.83] ENERCON
Statorunterverteilung
Dokument-Nr.: D0706547-1
Rev. 1, Datum: 13.06.2018

- [1.1.84] ENERCON
Überspannungsschutz Generator
Dokument-Nr.: D0771730-1
Rev. 1, Datum: 01.04.2019

- [1.1.85] ENERCON
Unterverteilung Dachmodul
Dokument-Nr.: D0665663-1
Rev. 1, Datum: 06.09.2018

- [1.1.86] ENERCON
Unterverteilung
Dokument-Nr.: D0750427-0
Rev. 0, Datum: 18.09.2018

- [1.1.87] ENERCON
Unterverteilung Statortemperaturfühler
Dokument-Nr.: D0745793-0a
Rev. 0a, Datum: 28.09.2018

- [1.1.88] ENERCON
Elektrische Ausrüstung
Dokument-Nr.: D0661624-0
Rev. 0, Datum: 29.12.2017

- [1.1.89] ENERCON
Elektrische Ausrüstung
Dokument-Nr.: D0710098-1
Rev. 1, Datum: 14.02.2019

- [1.1.90] ENERCON
Hauptverteilung WEA
Dokument-Nr.: D0770900-0a
Rev. 0a, Datum: 26.11.2018

- [1.1.91] ENERCON
Netzfilterschrank
Dokument-Nr.: D0642619-1
Rev. 1, Datum: 20.09.2018

- [1.1.92] ENERCON
Schaltschrank el. Grundversorgung WEA
Dokument-Nr.: D0711535-2
Rev. 2, Datum: 04.12.2018

- [1.1.93] ENERCON
Steuerschrank Transformator
Dokument-Nr.: D0757359-1
Rev. 1, Datum: 04.02.2019

- [1.1.94] ENERCON
Steuerschrank Rückkühleinheit
Dokument-Nr.: D0731028-4
Rev. 4, Datum: 20.03.2019

- [1.1.95] ENERCON
Steuerschrank Kühlkomponenten
Dokument-Nr.: D0744283-3
Rev. 3, Datum: 22.03.2019

- [1.1.96] ENERCON
Steuerschrank
Dokument-Nr.: D0783791-0
Rev. 0, Datum: 11.03.2019

- [1.1.97] ENERCON
Stromschiene
Dokument-Nr.: D0748725-1
Rev. 1, Datum: 20.03.2019

- [1.1.98] ENERCON
USV Anlagensteuerung
Dokument-Nr.: D0661298-3
Rev. 3, Datum: 06.12.2018

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

[1.1.100] ENERCON
DC Ladeeinheit
Dokument-Nr.: D0686074-1
Rev. 1, Datum: 01.04.2019

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

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

Transformator

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

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

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

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

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

- [1.1.108] J. Schneider Elektrotechnik
Gebrauchsanleitung 3Ph Transformatoren mit Isolierflüssigkeit in Hermetikausführung (HPNW)
Dokument-Nr.: 1775T07B01; ENERCON Dokument-Nr.: D070051-0
Rev. -, Datum: 16.07.2018

- [1.1.109] J. Schneider Elektrotechnik
Technical data sheet HPNW 4200A
Dokument-Nr.: 0000T02D01; ENERCON Dokument-Nr.: D0771373-0
Rev. -, Datum: 19.11.2018

Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.110] ENERCON
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul
Dokument-Nr.: PLM-EWES-SP022 MS-Schaltanlage-Rev001de_de
Rev. 1, Datum: 26.07.2017

- [1.1.111] ENERCON
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul
Dokument-Nr.: PLM-EWES-SP026 MS-Schaltanlage Kurzversion-Rev000de_de
Rev. 0, Datum: 07.11.2017

- [1.1.112] Driescher
Technical Data MINEX ABS® zero 12-24 kV
Dokument-Nr.: E6697-A14Z ABS12-24; ENERCON Dokument-Nr.: D0708078-0
Rev. -, Datum: 15.06.2016

- [1.1.113] Driescher
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L
ENERCON Dokument-Nr.: D0751294-0
Rev. -, Datum: 19.09.2018

- [1.1.114] Driescher
Technische Beschreibung ABS® zero
ENERCON Dokument-Nr.: D0708521-0
Rev. -, Datum: 18.09.2018 (empfangen)

- [1.1.115] Driescher
Zeichnung SF6-Schaltanlage Minex/ABS/ZERO 24kV/630A K-L-1700
Dokument-Nr.: 0178695; ENERCON Dokument-Nr.: D0710906-1
Rev. 001, Datum: 04.09.2018

- [1.1.116] Ormazabal
Technische Beschreibung cgm.3
Dokument-Nr.: CA-112-DE-1611; ENERCON Dokument-Nr.: D0783740-0
Rev. -, Datum: 23.05.2019 (empfangen)
- [1.1.117] Ormazabal
Schaltplan cgm.3
Dokument-Nr.: E08977; ENERCON Dokument-Nr.: D0821342-0
Rev. 04, Datum: 29.04.2019

EMV

- [1.1.118] ENERCON
Prüfanforderungen EMV Erforderliche Prüfungen
Dokument-Nr.: D0652486-3
Rev. 3, Datum: 25.04.2018

1.2 Mitgeltende Dokumente

- [1.2.1] ENERCON
Konstruktionsbasis E-126 EP3, E-138 EP3
Dokument-Nr.: D0556048-5
Rev. 5, Datum: 26.03.2018
- [1.2.2] ENERCON
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen
Dokument-Nr.: D0666243-1
Rev. 1, Datum: 15.05.2018
- [1.2.3] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Evaluation Report ENERCON E-138 EP3
Electrical Equipment and Lightning Protection
TÜV NORD Report Nr.: 8115 022 604 – 5 E, Rev. 1, Datum: 27.05.2019
- [1.2.4] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Evaluation Report ENERCON E-126 EP3, E-138 EP3, IEC 61400-22
Design Basis
TÜV NORD Report Nr.: 8115 022 604 – 0 E, Rev. 0, Datum: 28.03.2018

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,
Fassung Oktober 2012
- [2.2] IEC 61400-22:2010 (DIN EN 61400-22:2011)
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung

- [2.3] IEC 61400-1 (DIN EN 61400-1:2011)
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen
Dritte Ausgabe 2005-08 mit Änderungen A1 2010-07
- [2.4] IEC 60034-1:2010 (DIN EN 60034-1:2011)
Drehende elektrische Maschinen
Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- [2.5] IEC 60204-1:2016 (DIN EN 60204-1:2007)
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -
Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [2.6] IEC 61400-24:2010 (DIN EN 61400-24:2011)
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.7] IEC 62305:2010 Serie (DIN EN 62305:2011)
Blitzschutz
- [2.8] IEC 60076-1:2011 (DIN EN 60076:2012)
Leistungstransformatoren, Teil 1: Allgemeines
- [2.9] IEC 62271-1:2007 (DIN EN 62271-1:2007)
Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen
Teil 1: Gemeinsame Bestimmungen
- [2.10] DIN EN 62477-1:2013-04
Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme und -be-
triebsmittel, Teile 1: Allgemein
- [2.11] EN 61000-6-4:2006 + A1:2010
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Stör-
aussendung für Industriebereiche
- [2.12] EN 61000-6-2:2005
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Stör-
festigkeit für Industriebereiche
- [2.13] Verordnung (EU) Nr. 548/2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des
Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittelleis-
tungs- und Großleistungstransformatoren
- [2.14] DIN 50522:2010
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
- [2.15] DIN 18014:2014
Fundamentender – Allgemeine Planungsgrundlagen

3 Einleitung

In der DIBt-Richtlinie [2.1] werden keine direkten Anforderungen an die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme die Anforderungen der IEC 61400-22 / DIN EN 61400-22 [2.2] und der IEC 61400-1 / DIN EN 61400-1 [2.3] als Prüfgrundlage definiert. Die WEA ENERCON E-138 EP3 wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-22 und IEC 61400-1 überprüft [1.2.3].

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Beschreibung der WEA Konfigurationen

Die Prüfung des elektrischen Systems und des Blitzschutzes berücksichtigt die folgenden WEA Konfigurationen:

WEA Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Nennleistung	Turm / Hubhöhe	Rotordurchmesser / Blatt	Klimabedingung
1	E-138 EP 3	50 Hz	3.5 MW	Stahl oder Hybrid / 81, 111, 131, 160 m	138 m / E-138 EP3-RB-01	STW / CCV ¹

Tabelle 4.1: WEA Konfigurationen

Die IEC 61400-1 führt eine Standardluftdichte von 1,255 kg/m³ 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 ²	-40 °C bis +50 °C

Tabelle 4.2: Temperaturbedingungen

4.3 Eigenschaften Elektrische Komponenten

¹ STW: Standard Weather Edition, CCV: Cold Climate Version

² Leistungsbegrenzung unterhalb von -30 °C.

- **Generator**

Typ:	ENERCON
Hersteller:	synchron
Bezeichnung:	E-138 EP3-GE-01
WEA Konfiguration:	1
Nennleistung:	3800 kW
Nennspannung:	6 * 2Y * 740 V AC
Nennstrom:	290 A
Nenndrehzahl:	10.5 min ⁻¹
Frequenz:	10.7 Hz
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	IP23
Kühlart:	IC3A6
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 20 °C ³

- **Umrichter**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	Leistungsschrank B2B PC17034
Artikelnummer:	663699
WEA Konfiguration:	1
Leistung (Netzseite):	365 kVA
Nennspannung (Eingang):	630 V +20 %, -15 %
Nennstrom (Eingang):	335 A
Spannung (Ausgang):	0 - 740 V AC
Nennstrom (Ausgang):	335 A
Frequenz:	50 / 60 Hz ± 7 Hz
Schutzart:	IP01 (installiert IP21)

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

Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis 55 °C

- **Pitch System**

Motor:

Hersteller:	Emod	Ruckh
Prinzip:	DC Doppelschlussmotor	
Bezeichnung:	GFKB132M/4-150	GN 132/4 EP3/3
WEA Konfiguration:	1	1
Nennleistung:	5,6 kW	5,6 kW
Nennspannung (Läufer/ Erreger):	150 V DC / 162.5 V DC	150 V DC
Erregerspannung:	162,5 V DC	150 V – 170 V DC
Nennstrom:	46 A	52 A
Erregerstrom:	1,1 A	1,25 A
Nenndrehzahl:	2050 min ⁻¹	2200 min ⁻¹
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 ⁻¹	1350 min ⁻¹
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 ⁴

- **Schleifring**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	EP3-002-BH1
WEA Konfiguration:	1
Kontakte:	29 + 1 FORJ
Nenndrehzahl:	13 min ⁻¹
Schutzart:	IP53
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 70 °C

- **Transformator**

Hersteller:	J. Schneider Elektrotechnik
Bezeichnung:	HPNW 4200A-1775T07001
WEA Konfiguration:	1

⁴ Der Motor von EMOD wird nur in der Temperaturversion STW installiert.

Typ:	flüssigkeitsgefüllt
Frequenz:	50 Hz
Nennleistung:	4200 kVA
Nennspannung (HV):	10.0 kV
Nennspannung (LV):	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5
Taps:	+2,5/5/7,5/10 %
Isoliermedium:	Ester Midel 7131
Kühlung:	KFWF
Schutzart:	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C

- **Mittelspannungsschaltanlage**

Hersteller:	Driescher	Ormazabal
Bezeichnung:	Minex ABS® zero 12-24 kV	cgm.3
WEA Konfiguration:	1	1
Frequenz:	50/60 Hz	50/60 Hz
Nennspannung:	12 kV 17.5 kV 24 kV	36 kV
Nennstrom (Stromschiene):	630 A	400/630 A
Nennstrom (Leistungsschalter):	630 A	600 A
Schutzart:	Tank IP67	Tank IPX8 ⁵
Isolationsmedium:	SF ₆	SF ₆
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
--------------------	-------

⁵ Übriges Gehäuse IP2XD

- **Elektrische Netzanschlussbedingungen**

WEA Konfiguration:	1
Betriebsspannung:	24 kV und 36 kV
Betriebsfrequenz:	50 Hz
Spannungsungleichheit	Nicht definiert

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethode

Die eingereichten Dokumente wurden auf Vollständigkeit, Plausibilität und Erfüllung der spezifizierten Anforderungen der relevanten Normen überprüft. Diese Anforderungen resultieren insbesondere aus dem Kapitel 10 der IEC 61400-1 [2.3].

5.2 Anmerkungen

- [5.2.1] Während der Inbetriebnahme und des ersten Starts der WEA sollten einige Tests durchgeführt werden. Unter anderem sollten die installierten Kabel auf Druckstellen geprüft werden. Des Weiteren sollten die Kabelbezeichnungen mindestens stichprobenartig überprüft werden. Diese Tests sind nur zwei Beispiele für Prüfungen, die durchgeführt werden sollten, bevor die WEA in den normalen Betrieb geht.
- [5.2.2] Es ist zu beachten, dass die Blitzableitung durchgängig und korrekt mit dem Erdungssystem verbunden ist. Zusätzliche Komponenten, welche nicht Teil der vorliegenden Prüfungen sind, wie z.B. 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 wird im Prototyp der WEA ENERCON E-138 EP3 durchgeführt. Der Testbericht für die Erwärmungsprüfung ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.1].

Umrichter

Die E-138 EP3 ist mit einem 4-Q-Umrichter, Bezeichnung B2B PC17034 [1.1.9] - [1.1.18], ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON konstruiert und gefertigt. Die E-138 EP3 wird insgesamt mit 12 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 [1.1.9]. Der Umrichter wird flüssigkeitsgekühlt.

ENERCON hat bereits mehrere Prüfungen für den Umrichter durchgeführt [1.1.15] - [1.1.18]. Ein Typentestbericht entsprechend IEC 62477-1 und das Handbuch für den B2B PC17034 wurden noch nicht von ENERCON eingereicht. Beide Dokumente sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen. Des Weiteren ist der Zertifizierungsstelle ein Nachweis über die Erfüllung der EMV Anforderungen einzureichen [6.2].

Der Umrichter ist konform zur Europäischen Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU designed. Im Datenblatt [1.1.10] wird die IEC 62477-1 als angewandte Norm aufgeführt. Das CE Zeichen ist auf dem Typenschild [1.1.14] eingetragen. Die Konformitätserklärung für den Umrichter wurde der Zertifizierungsstelle nicht vorgelegt.

Pitch System

Jedes Rotorblatt ist mit zwei DC Motoren ausgerüstet. Diese Motoren sind zum einen mechanisch gekoppelt und zum anderen auch elektrisch verbunden. Die Motoren werden über einen DC-Umrichter gesteuert. In besonderen Fällen können die Motoren direkt über die Notstromversorgung der Ultracapacitors versorgt werden. Die im Kapitel 4 aufgeführten Motoren werden entsprechend der IEC 60034-1 konstruiert und getestet [1.1.50] - [1.1.57].

Schleifring

Die WEA E-138 EP3 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem ausgerüstet [1.1.39] - [1.1.42]. Der im Kapitel 4 aufgeführte Schleifring wird von ENERCON entsprechend den Umgebungsbedingungen im Hub ausgelegt. Im Schaltplan [1.1.70] sind die Verbindungen der Schleifringe korrekt dargestellt.

Azimutantrieb

Die WEA E-138 EP3 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.43], [1.1.44]. Es werden Drei-Phasen-Asynchron-Motoren eingesetzt. Die im Kapitel 4 aufgeführten Motoren sind entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 ausgeführt und getestet. Eine Bremse und ein Temperaturfühler sind am Motor montiert [1.1.45] - [1.1.49].

Transformator

Der Transformator ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. In den WEA E-138 EP3 werden flüssigkeitsgefüllte (synthetisches Ester) Transformatoren eingesetzt. Die Anforderungen, wie Schutz gegen Kurzschluss, Temperatur-, Druck- oder Füllstandsüberwachung werden in den ENERCON eigenen Spezifikation [1.1.103] beschrieben. Des Weiteren sind in [1.1.104] die erforderlichen Prüfungen und Test aufgeführt.

Die Transformatoren werden abhängig von den vorgefundenen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifischen Anpassungen der Transformatoren werden im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils exemplarisch und stellvertretend ein Transformator je Hersteller geprüft und aufgeführt. Die Transformatoren müssen wie oben beschrieben die ENERCON Anforderungen aber auch die relevanten Teile der IEC 60076 erfüllen [1.1.105], [1.1.109].

Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage ist ebenfalls in dem E-Modul im Turmfuß installiert [1.1.110], [1.1.111]. Die Schaltanlage wird, wie schon oben bei den Transformatoren beschrieben, abhängig von den vorgefundenen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifische Anpassung der Schaltanlage wird im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils eine Schaltanlage je Hersteller exemplarisch und stellvertretend geprüft und aufgeführt. Die Schaltanlage muss zum einen die unter [1.1.110] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie auch die relevanten Teile der IEC 62271 [2.9] erfüllen [1.1.112] - [1.1.117].

Schaltpläne

Die Schaltpläne [1.1.64] - [1.1.102] und zugehörigen Stücklisten wurden von uns stichprobenartig überprüft. Diese Überprüfung unter Berücksichtigung der Forderungen der IEC 60364 ergab keine Auffälligkeiten. So entsprechen z. B. die Dimensionierungen der Sicherungen den normativen Forderungen. Gegen die Installationen der Schutz- und Trenneinrichtungen gemäß den vorgelegten Schaltplänen haben wir keine Einwände.

Zusammenfassend erfüllen das elektrische System wie auch die elektrischen Komponenten die Anforderungen der IEC 61400-1.

5.3.2 Back-up Spannungsversorgungssystem

Jedes Blatt ist mit einem Back-up Spannungsversorgungssystem ausgerüstet. Diese Systeme bestehen jeweils aus vier in Serie geschalteten Kondensatormodulen (75 V, 94 F). Es können Kondensatoren der Firma Maxwell (BCAP3000) oder der Firma Nesscap (ESHSR-3000C0-002R7A8T1) eingesetzt werden. Beide Kondensatortypen können unter Kaltwetterbedingungen -40 °C bis 65 °C eingesetzt werden.

Die Kapazitätsberechnungen für den Anforderungsfall sind in [1.1.50] ausreichend aufgeführt.

Mit Hilfe des „capacitor voltage monitoring module“ wird die Spannung der Kondensatoren permanent überwacht. Die Ladung der Module erfolgt durch das im Blattregelschrank installierte „capacitor-charging module“.

Das Back-up Spannungsversorgungssystem erfüllt die Anforderungen der IEC 61400-1.

5.3.3 Elektrische Leiter

Die Auslegung der Turmkabelanlage ist in [1.1.60] beschrieben. Die Anzahl und Kabelquerschnitte wurden entsprechend den Nennströmen der E-138 EP3 und den Umgebungsbedingungen bestimmt.

Die Kabeldurchmesser und vorliegenden Kalkulationen sind nachvollziehbar und entsprechen den Anforderungen der IEC 61400-1.

5.3.4 Schutz- und Trenneinrichtungen

Die WEA ist mit Schutzgeräten zum Schutz der elektrischen Komponenten ausgestattet. Diese schützen die Turbine selbst sowie die externen elektrischen Systeme im Falle einer Fehlfunktion. Die WEA kann vom elektrischen Netz getrennt werden. Diese Netztrennung kann automatisch durchgeführt werden, z. B. bei einem Fehler, oder manuell, z. B. zu Wartungszwecken. Außerdem ist das elektrische System der WEA mit Überspannungsschutzgeräten ausgerüstet.

Bei der stichprobenhaften Prüfung der eingereichten Schaltpläne haben wir auch die Schutzgeräte geprüft. Die Prüfung hat keine Abweichungen von der IEC 60364 in Bezug auf die Schutz- und Trenneinrichtungen gezeigt.

5.3.5 Blitzschutz- und Erdungssystem

In der IEC 61400-1 [2.3] sind der Blitzschutz und das Erdungssystem in getrennten Kapiteln aufgeführt. In dieser Stellungnahme fassen wir beide Punkte zusammen, weil zum einen die Anforderungen auf den gleichen Normen basieren und zum anderen der Schutz gegen Blitzeinschläge und der Effekt der Blitzeinschläge als ein gemeinsames Problem zu betrachten sind.

Die IEC 61400-1 fordert ein Blitzschutzsystem entsprechend der IEC 62305 [2.7]. Außerdem ist für WEA die IEC 61400-24 [2.6] zu beachten.

Das Blitzschutzsystem der ENERCON WEA E-138 EP3 ist für den Gefährdungspegel LPL I ausgelegt [1.1.19]. Dies ist das höchstmögliche Schutzlevel. Die Festlegung der verschiedenen Blitzschutz-zonen sowie auch der Potentialausgleich sind ebenfalls in diesem Dokument beschrieben.

Die Erdungsanlage der E-138 EP3 ist in [1.1.64] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.20] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in Zeichnung [1.1.21] dargestellt. Zur Erfüllung der Anforderungen an Erdungsanlagen sind insbesondere im Rahmen der DIBt neben den IEC-Anforderungen auch die Forderungen der DIN 50522 [2.14] sowie DIN 18014 [2.15] zur Planung und Ausführung von Erdungsanlagen zu berücksichtigen. Die Erdungsanlage muss projektspezifisch auf die vorhandenen Erdungsbedingungen angepasst werden.

Die E-138 EP3 wird mit E-138 EP3-RB-01 Rotorblättern des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Das Design des Blattes und des Blitzschutzsystems basiert auf anderen ENERCON Rotorblättern [1.1.22]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems wurde entsprechend den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV SÜD geprüft [1.1.23] und mit Hilfe des vergleichbaren Rotorblattes E-103 EP2-RB-01 nachgewiesen. Des Weiteren ist das Blitzschutzsystem des Blattes E-138 EP3-RB-01 in den Zeichnungen [1.1.24] - [1.1.38] dargestellt.

Die Anforderungen der IEC 61400-1 werden vom Blitzschutzsystem der WEA E-138 EP3 erfüllt.

5.3.6 Selbsterregung

Die E-138 EP3 ist mit einem direkt gekoppelten Synchrongenerator ausgestattet. Der Generator wird elektrisch erregt wodurch er sich nicht selbsterregen kann. Des Weiteren ist die WEA mit einem Vollumrichtersystem ausgerüstet, dessen Leistungsschalter ermöglichen die Trennung der Generatorverbindung. Daher sind die diesbezüglichen Anforderungen der Norm 61400-1 als erfüllt anzusehen.

5.3.7 Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit

Die Anforderungen an die WEA hinsichtlich der Emission von leitungsgebundenen Störungen und ihrer Immunität dagegen werden durch ein vorhandenes Erdungs- und Blitzschutzsystem und die Erfüllung der Anforderungen der IEC 62305 abgedeckt.

Die IEC 61400-1 fordert die Vermessung der Netzverträglichkeit der WEA gemäß den Forderungen der IEC 61400-21. Die Validierung der entsprechenden Ergebnisse ist zum Zeitpunkt der momentanen Prüfungen nicht möglich [6.3].

Messungen zu Netzverträglichkeit entsprechend der IEC 61400-21 und den relevanten EMV-Standards werden am Prototyp der E-138 EP3 durchgeführt. Die Messergebnisse sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.4].

5.3.8 Weitere Anmerkungen

Die E-138 EP3 kann auch als Kalt-Wetter-Ausführung (CCV) ausgerüstet werden. Die Anpassungen für diese Variante sind in [1.2.2] beschrieben.

Unsere Prüfungen hinsichtlich der Kalt-Wetter-Tauglichkeit entsprechend den ENERCON-Anforderungen ergaben keine Abweichungen.

5.4 Schnittstellen

Die Sicherheitskette ist in [1.1.101] korrekt beschrieben. Zusätzliche Sensoren sind in den Schaltplänen dargestellt.

6 Auflagen

- 6.1 Der Testbericht für die thermische Prüfung des Generators sollte der Zertifizierungsstelle vorgelegt werden.
- 6.2 Die Testberichte und das Handbuch für den Umrichter B2B PC17034 sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen. Des Weiteren ist ein Nachweis über die Erfüllung der EMV Anforderungen einzureichen.
- 6.3 Der Testbericht für die Prüfung der elektrischen Eigenschaften entsprechend IEC 61400-21 sollte der Zertifizierungsstelle vorgelegt werden.
- 6.4 Die Nachweise über die Einhaltung der EMV-Anforderungen ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen.

7 Schlussfolgerung

Wenn die im Kapitel 6 aufgeführten Auflagen berücksichtigt werden, entspricht das elektrische System der ENERCON E-138 EP3 den Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit auch die Anforderungen der DIBt.

Die Konformitätserklärung (CE) für die E-138 EP3 umfasst alle von ENERCON entwickelten und hergestellten elektrischen Komponenten.

Durch Modifikationen am elektrischen System, die nicht angezeigt werden, verliert diese Stellungnahme ihre Gültigkeit. Damit diese Stellungnahme gültig bleibt, sollten Änderungen der Zertifizierungsstelle Windenergie mitgeteilt und zur Prüfung vorgelegt werden.

Sachverständiger

A blue ink signature consisting of two parts: a stylized 'H' and a more complex, flowing signature.

M. Sc. Holger Grafe

Freigabe

A blue ink signature consisting of two parts: a stylized 'R' and a more complex, flowing signature.

Dr. Ralf Kotte

Gutachtliche Stellungnahme

für die Windenergieanlage E-138 EP3

verschiedene Konfigurationen

- Turmkopfflansch -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604 - 11 D II Rev. 0

Gegenstand der Stellungnahme: a) Turmkopfflanschbaugruppe für die Windenergieanlage E-138 EP3 gemäß DIBt Richtlinie (Fassung Oktober 2012)
b) Numerisch bestimmte Übertragungsfunktionen

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Die Gutachtliche Stellungnahme umfasst 8 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Prüfer
0	08.02.2019	Erstausgabe	C. Fischer

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3
Schraubverbindungen des Azimutlagers Turmkopfflansch Statik und Betriebs-
festigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 2,
GK II“
Dokument Nr.: D0713132-0, Rev. 0, Datum: 30.05.2018

Anlagen

- [1.1.2] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“,
Zeichnungs-Nr.: 115.03.003-1, Rev. 1, Datum: 20.02.2018

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen für statische Berechnungen des Kopfflansches

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
„ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Lastannahmen und Nachweisstra-
tegie für maschinenbauliche Nachweise“
Dokument Nr.: D0616840-4, Rev. 4, Datum: 18.04.2018

Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau

- [1.2.2] ENERCON GmbH:
"ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Lastannahmen für maschinenbauli-
che Nachweise"
Dokument Nr.: D0672479-0, Rev. 0, Datum 18.06.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Maschinenbau E-138 EP3 Abdeckende Betriebs- und Extremlas-
ten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01
nach DIBt und IEC“
Dokument Nr.: D0722965-2, Rev. 2, Datum: 28.01.2019

Lastvergleich

- [1.2.4] ENERCON GmbH:
„Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 Load com-
par-ison for Statics and Fatigue Load loop 26++ Loads according to: DIBt 2012
and IEC III“
Dokument Nr.: D0786253-0, Rev. 0, Datum 29.01.2019

Zeichnungen zum Turmkopf

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
„Azimutlager Ø3347 Ø3059 m18 z195 x0.5 ”
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.422-0, Rev. 0, Datum: 29.01.2018
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
„Maschinenträger EP3-MC-04”
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.444-3, Rev. 3, Datum: 17.04.2018

Statische Berechnungen hinsichtlich Bruchzähigkeit

- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3
Schraubverbindungen des Azimutlagers Turmkopfflansch Statik und Betriebs-
festigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 3/4,
GK I & II”,
Dokument Nr.: D0664633-2, Rev. 2, Datum: 08.01.2019
- [1.2.8] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-126 EP3 verschie-
dene Konfigurationen - Turmkopfflansch -”,
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604 - 11 D Rev. 2, Datum: 07.02.2019

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Fassung 10.2012):
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnach-
weise für Turm und Gründung“
- [2.2] DIN EN 1993-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-1/NA (08.2015):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allge-
meine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.3] DIN EN 1993-1-9 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-9/NA (12.2010):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermü-
dung“
- [2.4] DIN EN 1993-1-10:2010-12 + DIN EN 1993-1-10/NA:2016-04:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10:
Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Di-
ckenrichtung“
- [2.5] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zy-
lindrische Einschraubenverbindungen“

3 Einleitung

Gegenstand dieser Stellungnahme ist die Prüfung der Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich struktureller Integrität im Sinne von [2.1] für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen.

Außerdem werden die technische Richtigkeit der durchgeführten Berechnungen, die daraus abgeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch und deren Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

4 Beschreibung

4.1 Turmkopfflansch

Der Turmkopfflansch ist ein L-Flansch mit einem Innendurchmesser von 3148 mm an der anschließenden Turmwand und einem Außendurchmesser von 3557 mm. Die Gesamthöhe beträgt 281 mm. Der Flansch wird mit dem in [1.2.5] gezeigten Azimutlager mittels 128 Schrauben M36 verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger wird durch 134 Schrauben M33 hergestellt.

Der Turmkopfflansch soll für die Windenergieanlagen E-126 EP3 und E-138 EP3 verwendet werden.

4.2 Lastannahmen

Die Turmkopfflanschbaugruppe wurde für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Konfigurationen nachgewiesen. Die Auslegungslasten in [1.2.1] sind eine Zusammenfassung der für den Kopfflansch relevanten Lasten aus [1.2.2]. Diese Auslegungslasten ([1.2.2] und indirekt [1.2.1]) werden mit den einhüllenden Lasten ([1.2.3]) aller Konfiguration in [1.2.4] verglichen.

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3	81 m	3,5 MW	E-138 EP3-RB-01	2	II	[1.2.1], [1.2.3]	-
2		111 m			S	S		
3		131 m			2	II		
4		160 m			2	II		

Tabelle 4.1: Lastannahmen

Die Ermüdungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

4.3 Baustoffe

Flansch

Kopfflansch: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (nahtlos geschmiedet) oder
Stahl DIN EN 10025-3-S355NL + DIN EN 10164-Z25
(abbrennstumpfstoßgeschweißt)
 $R_{eH} = 265 \text{ MPa}$

Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager

Schrauben: DIN 976-1 – M36 x 355 – 10.9 tZn
maximale Vorspannkraft $F_{M,max} = 581,4 \text{ kN}$
(Drehmomentverfahren)
Anziehfaktor $\alpha_A = 1,5$

Scheiben: ISO 7089 - 36 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M36 - 10 tZn

Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

Schrauben: DIN 976-1 - M33 x 380 - 10.9 tZn
maximale Vorspannkraft $F_{M,max} = 445,1 \text{ kN}$
(Drehwinkelverfahren)
Anziehfaktor $\alpha_A = 1,0$

Scheiben: ISO 7089 - 33 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M33 - 10 tZn

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustand der Tragfähigkeit) wurden in der eingereichten statischen Berechnung für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft. Der Flansch und die Schrauben zweier Verbindungen – Flansch mit Azimutlager und Azimutlager mit Maschinenträger – werden als eine Baugruppe betrachtet. Des Weiteren werden die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch (Raden und Schweißnaht zur Turmschale) auf ihre Richtigkeit und Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

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

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

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden von ENERCON GmbH in [1.1.1] Übertragungsfunktionen hergeleitet. Der zugrunde liegende Aufbau des Turmkopfes kann [1.1.2], [1.2.5] und [1.2.6] entnommen werden. Für die Vergleichsrechnung wurde eine minimale Schraubenvorspannkraft von 387,6 kN für die Verbindung von Turmkopf und Azimutlager angenommen.

Der Sprödbbruchnachweis gemäß DIN EN 1993-1-10 wird in [1.2.7] für die Windenergieanlage E-126 geführt und ist in [1.2.8] geprüft. Aufgrund der effektiven Flanschhalslänge und der gleichen Flanschgeometrie ist der Nachweis ebenfalls für die Anlage E-138 gültig.

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

6 Auflagen

- 6.1 Die Streckgrenze des für die Flansche verwendeten Materials muss mindestens dem in Kapitel 4.3 genannten Wert entsprechen. Die Verwendung eines Flansches, der abbrennstumpfstößgeschweißt wurde, ist an Standorten mit tiefen Temperaturen ($\leq -40^{\circ}\text{C}$) nicht erlaubt.
- 6.2 Die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können in zukünftigen Nachweisen genutzt werden, wenn die Belastungen die zugrunde gelegten Lastannahmen nicht überschreiten und die Turmgeometrie nicht signifikant von der in [1.1.1] angenommenen abweicht. Insbesondere darf der Neigungswinkel der an den Turmkopfflansch anschließenden Turmwand den darin aufgeführten Wert nicht überschreiten.

7 Zusammenfassung

Die geprüften Dokumente unter 1.1 sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt. Die statischen Berechnungen wurden durch Vergleichsrechnung geprüft.

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Schnittstellen und Auflagen ist die geprüfte Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen geeignet. Für eine Typenprüfung mindestens einer Konfiguration müssen die gutachterlichen Stellungnahmen zu den Lasten der entsprechenden Nabenhöhe und zu dem Lastvergleich ([1.2.4]), der Teil der maschinenbaulichen Prüfung ist, vorliegen.

Die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können zukünftigen Nachweisen zugrunde gelegt werden, wenn Auflage 6.2 erfüllt ist.

Diese gutachtliche Stellungnahme verliert ihre Gültigkeit mit konstruktiven Änderungen der Turmflanschkonstruktion.

Prüfer:



Dr.-Ing. C. Fischer

Freigegeben:



Dipl.-Ing. / IWE I. Jongschlager

An der Prüfung beteiligt:

Dr.-Ing. Ye Ou

Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-138 EP3 E2

TÜV NORD Bericht Nr.: 8117 142 915 D Rev. 0

Anlagenspezifikation:

Bezeichnung:	ENERCON E-138 EP3 E2
Rotorblatt:	E-138 EP3-RB-02
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

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), DIBt WZ 2, GK II -
Lastannahmen für Turm und Fundament --
Bericht Nr.: 8117 142 915-1 D II
Rev. 0, vom 01.11.2019
- [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. 0, vom 12.09.2019
- [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. 0, vom 01.11.2019

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. 0, vom 28.11.2019

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. 0, vom 27.11.2019

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. 0, vom 26.11.2019

1.5 Maschinenbauliche Komponenten

- [1.5.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-138 EP3 E2 - Maschinenbauliche Komponenten -
Bericht Nr.: 8117 142 915-4 D
Rev. 0, vom 25.11.2019

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. 0, vom 19.11.2019

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 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 ± 5 %.
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu ± 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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
- Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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.

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	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	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 %
	EC116-WoRWiT-	16 %
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

² 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: $k_{\phi,dyn}$	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

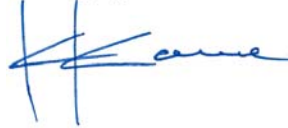
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

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

M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:

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

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),
DIBt WZ 2, GK II**

- Lastannahmen für Turm und Fundament -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D II Rev. 0

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) 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

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.....	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

1.2 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.

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) 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 ± 5 %.
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu ± 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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
- Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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}	7.63 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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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.

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	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	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 (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°
Rotorenndrehzahl 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) <i>d8e4557136633f087c534a3bc72876ad (MD5 check sum)</i>	
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) <i>a3efe62408ec45de1a0b11f3a3b2ad77 (MD5 check sum)</i>	
	Steif: powprod.\$PJ (1.1_s20102) <i>d8e4557136633f087c534a3bc72876ad (MD5 check sum)</i>	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll <i>c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum)</i> Controller-Input: EP3_E138_E2_E-138_EP3_E2_HT_149_ES_C_01__0.5.5__3.4.Daten.cipher <i>fb6e84007cd7648810b417e521a3f4c2 (MD5 check sum)</i>	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb 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: $k_{\phi,dyn}$	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)

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 ± 5 % von der 1. Turmeigenfrequenz des in der Lastberechnung verwendeten Modells sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich.

7 Schlussfolgerung

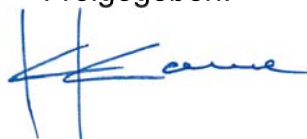
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:



M.Sc. Konstantin Konkel

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2
RB E-138 EP3-RB-02, 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 ± 5 %.
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu ± 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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
- Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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.

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	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	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 %
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

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb 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: $k_{\phi,dyn}$	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 Berechnungskoodinaten-systemen 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 Last-berechnung 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 Mas-senexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2. Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. 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.

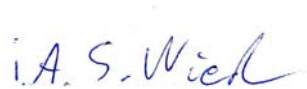
6 Auflagen

- 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 ± 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, appearing to read "i.A. S. Wich".

M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "K. 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 ± 5 %.
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu ± 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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
- Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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.

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	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	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 %
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

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb 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: $k_{\phi,dyn}$	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 Berechnungskoodinaten-systemen 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 Last-berechnung 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 Mas-senexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2. Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. 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

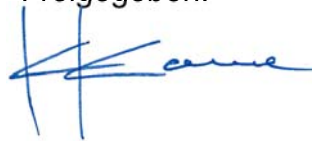
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "i.A. S. Wich". The signature is written in a cursive, somewhat stylized script.

M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Konkel". The signature is written in a cursive, somewhat stylized script.

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. 0

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

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.....	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-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_Lastenbericht,_Turm_E-138_EP3_E2-HT-160-ES-C-01.pdf
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_Konstruktionsbasis_E-138_EP3_E2
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.

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 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 ± 5 %.
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu ± 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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
- Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ 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}	7.63 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
Höhenexponent α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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

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.

¹ Ausgehend von den in den hier vorliegenden Lastannahmen ausgewiesenen Werten.

	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	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	69.295 m
Rotorblattmasse	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 $n_1 - n_A$	4.4 - 13.875 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) <i>b16cb04ca2856c82b1c5c29f3a983951 (MD5 check sum)</i>	
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	Flexible: powprod.\$PJ (1.1_w20102) <i>5af434a17035263075e41a8f6bc841fe (MD5 check sum)</i>	
	Stiff: powprod.\$PJ (1.1_s20102) <i>b16cb04ca2856c82b1c5c29f3a983951 (MD5 check sum)</i>	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll <i>c4d2078498bd5573cecf7dd5c72eca3f (MD5 check sum)</i> Controller-Input: EP3_E138_E2__E-138_EP3_E2_HT_160_ES_C_01__0.5.5__3.4.Daten.cipher <i>9d04e2b211eb4959bd375859559f828c (MD5 check sum)</i>	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

² 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: $k_{\phi,dyn}$	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	2.296 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.

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:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "T. Kaczynski". The signature is stylized with a large, looped 'K' and a trailing 'ski'.

M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Konkel". The signature is stylized with a large, looped 'K' and a trailing 'konkel'.

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.0

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

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,
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 E2-HT-149-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II -
Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D II
Rev. 0, Datum: 01.11.2019

[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.

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“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5% erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ um nicht mehr als 5% absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.

¹ 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 α (für EWM)	0.2 (0.16)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α 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°
Rotornennndrehzahl 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

² 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: $k_{\phi,dyn}$	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.

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 ± 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 Konkel

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. 0

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 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	28.11.2019	Erstausgabe	O. Raupach

Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen	3
1.1	Geprüfte Unterlagen	3
1.2	Zugehörige Unterlagen	5
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einführung	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage.....	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	9
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	12
7	Schlussfolgerung	13

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.: D0848874-0
Rev. 0, Datum: 18.07.2019
- [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
- 1.2 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 (Draft)
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0870816-0
Rev. 0, Datum: 21.10.2019
- [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] – [1.1.17] 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)
Nennzahl	10.8 min ⁻¹
Drehzahlgrenze Betriebsführung	12.8 min ⁻¹
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem	13.9 min ⁻¹
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°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°C bis -25°C wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Zwischen -25°C und -40°C bleibt die Anlage mit maximal 25% der Nennleistung weiter in Betrieb. Wenn die Temperatur unter -40°C fällt, stoppt die Windenergieanlage. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von -35°C wieder möglich.

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

Die Beschreibung (das Blockschaltbild) des automatischen Wiederauffahrens nach Fehlern des Betriebsführungssystems in Dokument [1.1.3] ist nicht korrekt und wird bei der nächsten Überarbeitung des Dokuments korrigiert. (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.2).

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 Nabenhöhen (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.3).
Hinweis: Mit Dokument [1.2.7] erklärte ENERCON die Gültigkeit des Handbuchs auch für die E-138 EP3 E2 mit Stahlturm 81m, 96m, 111m und 131m. Mit demselben Dokument erklärte ENERCON die Gültigkeit auch für die E-138 EP3 E2 mit Hybridturm 149m.
- In der Wartungsanleitung [1.1.14] sowie in der technischen Beschreibung des Blattverstellsystems [1.1.2] fehlt eine Beschreibung der Arretierung des Blattverstellsystems (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.4).
- Das Wartungshandbuch [1.1.14] enthält keinen Hinweis darauf, dass das Windenergieanlage nicht gleichzeitig mit deaktiviertem Yaw-System und arretiertem Rotor verlassen werden darf (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.5).

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 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 (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.1).

6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 Die Häufigkeit der Abschaltung des Betriebsführungssystems aufgrund von Überdrehzahl (n_4) ist in den Jahresberichten anzugeben, um die für die Lastfalldefinition getroffenen Annahmen zu validieren.
- 6.2 Die Beschreibung (Blockschaltbild) des automatischen Wiederanfahrens nach Störungen des Betriebsführungssystems in der technischen Beschreibung der Fehlermodes ist zu korrigieren.
- 6.3 Das Handbuch für die Turmmontage ist mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Nabenhöhen zu ergänzen und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung einzureichen.
- 6.4 Eine Beschreibung der Arretierung des Blattverstellsystems ist im Wartungshandbuch und in der technischen Beschreibung des Systems zu ergänzen.
- 6.5 Das Wartungshandbuch muss mit einem Hinweis versehen sein, dass die Windenergieanlage nicht gleichzeitig mit deaktiviertem Yaw-System und blockiertem Rotor verlassen werden darf.
- 6.6 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.
- 6.7 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:

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

An der Prüfung beteiligt:

Dipl.-Ing. G. Ewald

Gutachtliche Stellungnahme

ENERCON E-138 EP3 E2

– Elektrische Komponenten und Blitzschutz –

TÜV NORD Report Nr.:	8117 142 915 - 5 D Rev. 0
Prüfobjekt:	Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E2
Prüfumfang:	<ul style="list-style-type: none">- DIBt 2012- IEC 61400-1 ed. 3
Hersteller:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 30 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Experte
0	27.11.2019	Erste Fassung	H. Grafe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
2	Prüfgrundlagen	16
3	Einleitung	17
4	Beschreibung der Windenergieanlage	17
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen	17
4.2	Klimatische Bedingungen	18
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten	18
5	Durchgeführte Prüfungen	23
5.1	Prüfmethode	23
5.2	Anmerkungen	24
5.3	Prüfbemerkungen	24
5.3.1	Allgemeine Anforderungen an das elektrische System	24
5.3.2	Back-up Spannungsversorgungssystem	26
5.3.3	Elektrische Leiter	27
5.3.4	Schutz- und Trenneinrichtungen	27
5.3.5	Blitzschutz- und Erdungssystem	27
5.3.6	Selbsterregung	28
5.3.7	Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit	28
5.3.8	Kalt-Wetter-Ausführung	29
5.4	Schnittstellen	29
6	Auflagen	29
7	Schlussfolgerung	30

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

Blitzschutz

- [1.1.15] ENERCON
Technische Beschreibung Blitzschutz
ENERCON Windenergieanlagen EP1, EP2, EP3
Dokumenten-Nr.: D0260891-11
Rev. 11, Datum: 28.10.2019

- [1.1.16] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Flachgründung mit Teilauftrieb
Dokumenten-Nr.: D0872882-0
Rev. 0, Datum: 23.09.2019

- [1.1.17] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Tiefgründung mit Teilauftrieb
Dokumenten-Nr.: D0872883-0
Rev. 0, Datum: 24.09.2019

- [1.1.18] ENERCON
Technische Beschreibung
Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02
Dokumenten-Nr.: D0812489-0
Rev. 0, Datum: 15.05.2019

- [1.1.19] TÜV Süd
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem
Prüfnummer: 2632058-31-d
Rev. 0, Datum: 30.08.2017

- [1.1.20] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel
Dokumenten-Nr.: R1382.190.10001
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.21] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile
Dokumenten-Nr.: R1382.190.10000
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.22] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Zusammenbau
Dokumenten-Nr.: R.1382.190.10002
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.23] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Ableitring
Dokumenten-Nr.: R1265.190.10003
Rev. 1, Datum: 06.03.2019

- [1.1.24] ENERCON
Zeichnung Rotorblatt Einbau Verschlussstopfen
Dokumenten-Nr.: R01.230.10075
Rev. 0, Datum: 17.07.2019

- [1.1.25] ENERCON
Zeichnung Stopfen Verschlussstopfen
Dokumenten-Nr.: R01.230.10074
Rev. 1, Datum: 23.07.2019

- [1.1.26] ENERCON
Technische Information Messung des Erdungswiderstands
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-DC008-Messung des Erdungswiderstands-
Rev006de-de
Rev. 6, Datum: 30.08.2016

Schleifringübertrager

- [1.1.27] ENERCON
Spezifikation Schleifringübertrager EP3-003-BH1-ENC=-FORJ1
Dokumenten-Nr.: D0866477-0
Rev. 0, Datum: 11.09.2019

- [1.1.28] ENERCON
Schaltplan Schleifringübertrager
Dokumenten-Nr.: D0840907-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019

Elektrischer Antrieb Azimut

- [1.1.29] ENERCON
Spezifikation dezentrale Azimutantriebe 3,3 kW
Dokumenten-Nr.: D0632905-8
Rev. 8, Datum: 08.10.2019

- [1.1.30] Getriebebau NORD
Motordatenblatt Motortyp 112MH/4 BRE60 PT1000
Dateiname: Motordatenblatt_ENERCON-Azimutmotor_NC
Rev. -, Datum: 24.10.2019

- [1.1.31] Drivesystem NORD
Motoren Betriebs- und Montageanleitung
Dokumenten-Nr.: B 1091 de-2319
Rev.B 1091, Datum: 06.2019

- [1.1.32] Getriebebau NORD
Bild Typenschild
Dateiname: Motor-TS_Enercon Azimut NC
Rev. -, Datum: 25.10.2019 (empfangen)

- [1.1.33] Drivesystem NORD
Auszug vom Handbuch für Frequenzumrichter
Dokumenten-Nr.: BU 0200 de-3118
Rev. -, Datum: 25.10.2019 (empfangen)

- [1.1.34] Drivesystem NORD
Bild Typenschild
Dateiname: Typenschild-SK200E
Rev., Datum: 25.10.2019 (empfangen)

Elektrischer Antrieb Pitch

- [1.1.35] 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

- [1.1.36] ENERCON
Spezifikation Blattverstellmotor DC-8.8kW-38x58-FF265-85
Dokumenten-Nr.: D0765312-1
Rev. 1, Datum: 29.08.2019

- [1.1.37] ENERCON
Zeichnung pitch motor DC-8.8W-38x58-FF265-85
Dokumenten-Nr.: EP3.01.130-0
Rev. 0, Datum: 21.08.2019

- [1.1.38] Emod Motoren
Datenblatt DC Pitchmotor ENERCON E-138 EP3 E2 und E115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0873507-0
Rev. 1, Datum: 19.09.2019

- [1.1.39] Emod Motoren
Massblatt für Motor
Dokumenten-Nr.: B0616.20.116549-00; ENERCON Dokumenten-Nr.:
D0896099-0
Rev. 0, Datum: 07.11.2019

- [1.1.40] ENERCON
Messbericht Blattverstellmotor Emod E-138EP3E2
Dokumenten-Nr.: D0847529-0
Rev. 0, Datum: 07.11.2019

- [1.1.41] ENERCON
Messbericht IB BVS E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0861403-0
Rev. 0, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

Back-up System, Ladegeräte, Energiespeicher

- [1.1.42] 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

- [1.1.43] ENERCON
Auslegung Turmkabelanlage E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0854039-1
Rev. -, Datum: 01.08.2019 (empfangen)
- [1.1.44] Prysmian
Data sheet PROTOTHEN-X (N)A2XSY
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0629505-0
Rev. -, Datum: 31.07.2017
- [1.1.45] Prysmian
Data sheet WINDFLEX GLOBAL EMC S-3GDSHOEU
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0630109-0
Rev. -, Datum: 04.09.2017
- [1.1.46] ENERCON
Technical Description ENERCON Wind Energy Converter Steady-State
Short-Circuit Calculations
Dokumenten-Nr.: D0138322-11
Rev. 11, Datum: 30.08.2019

Schaltpläne

- [1.1.47] ENERCON
Übersichtsschaltplan E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0842364-0
Rev. 0, Datum: 18.07.2019
- [1.1.48] ENERCON
Blattsicherheitsschrank
Dokumenten-Nr.: D0845302-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019
- [1.1.49] ENERCON
Kondensatoreinheit Rotor
Dokumenten-Nr.: D0844192-0
Rev. 0, Datum: 04.07.2019

- [1.1.50] ENERCON
Rotorunterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0840424-0
Rev. 0, Datum: 02.07.2019

- [1.1.51] ENERCON
Unterverteilung Rotorsensorik
Dokumenten-Nr.: D0840182-0
Rev. 0, Datum: 24.06.2019

- [1.1.52] ENERCON
Trafo Rotor
Dokumenten-Nr.: D0808281-0
Rev. 0, Datum: 07.06.2019

- [1.1.53] ENERCON
Überdrehzahlschalterbox
Dokumenten-Nr.: D0787934-1
Rev. 1, Datum: 03.07.2019

- [1.1.54] ENERCON
Blattregelschrank
Dokumenten-Nr.: D08765436-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019

- [1.1.55] ENERCON
Blattrelaisschrank
Dokumenten-Nr.: D0763164-0
Rev. 0, Datum: 02.11.2018

- [1.1.56] ENERCON
Überspannungsschutz Rotor
Dokumenten-Nr.: D0717699-0a
Rev. 0a, Datum: 19.06.2019

- [1.1.57] ENERCON
Lastregelschrank
Dokumenten-Nr.: D0609510-1
Rev. 1, Datum: 29.06.2018

- [1.1.58] ENERCON
Unterverteilung Statortemperaturfühler
Dokumenten-Nr.: D0845466-0
Rev. 0, Datum: 09.07.2019

- [1.1.59] ENERCON
Unterverteilung Statortemperaturfühler
Dokumenten-Nr.: D0842996-0
Rev. 0, Datum: 08.07.2019

- [1.1.60] ENERCON
Statorunterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0843187-0
Rev. 0, Datum: 12.07.2019

- [1.1.61] ENERCON
Schaltschrank el. Grundversorgung Gondel
Dokumenten-Nr.: D0829101-0
Rev. 0, Datum: 24.05.2019

- [1.1.62] ENERCON
Gondelsteuerschrank
Dokumenten-Nr.: D0820846-0
Rev. 0, Datum: 19.06.2019

- [1.1.63] ENERCON
Hauptverteilung Gondel
Dokumenten-Nr.: D0804950-0
Rev. 0, Datum: 05.07.2019

- [1.1.64] ENERCON
Erregersteller
Dokumenten-Nr.: D0791859-0
Rev. 0, Datum: 08.02.2019

- [1.1.65] ENERCON
Unterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0753082-0
Rev. 0, Datum: 15.11.2018

- [1.1.66] ENERCON
Fehlerstromüberwachung Generator
Dokumenten-Nr.: D0743703-2a
Rev. 2a, Datum: 05.07.2019

- [1.1.67] ENERCON
Freischaltbox Blattheizung
Dokumenten-Nr.: D0722985-1
Rev. 0, Datum: 06.12.2018

- [1.1.68] ENERCON
Unterverteilung Dachmodul
Dokumenten-Nr.: D0665663-1
Rev. 0, Datum: 06.09.2018

- [1.1.69] ENERCON
Akkuschränk
Dokumenten-Nr.: D0665360-0
Rev. 0, Datum: 23.01.2018

- [1.1.70] ENERCON
Stromschiene
Dokumenten-Nr.: D0849265-0
Rev. 0, Datum: 17.07.2019

- [1.1.71] ENERCON
Elektrische Ausrüstung
Dokumenten-Nr.: D0840479-0
Rev. 0, Datum: 24.06.2019

- [1.1.72] ENERCON
Schaltschrank el. Grundversorgung WEA
Dokumenten-Nr.: D0840350-0
Rev. 0, Datum: 24.06.2019

- [1.1.73] ENERCON
USV Anlagensteuerung
Dokumenten-Nr.: D0833460-0
Rev. 0, Datum: 13.06.2019

- [1.1.74] ENERCON
Netzfilterschrank
Dokumenten-Nr.: D0825801-0
Rev. 0, Datum: 16.05.2019

- [1.1.75] ENERCON
Hauptverteilung WEA
Dokumenten-Nr.: D0770900-1
Rev. 1, Datum: 17.06.2019

- [1.1.76] ENERCON
Steuerschrank Transformator
Dokumenten-Nr.: D0757359-1
Rev. 1, Datum: 04.02.2019

- [1.1.77] ENERCON
Zählerschrank
Dokumenten-Nr.: D0736809-0
Rev. 0, Datum: 12.04.2019

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

- [1.1.79] ENERCON
DC Ladeeinheit
Dokumenten-Nr.: D0686074-1
Rev. 1, Datum: 01.04.2019

- [1.1.80] ENERCON
Übersichtsschaltplan Erdung E-138 EP3 E2 / E115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0845846-0a
Rev. 0a, Datum: 02.07.2019

Transformator

- [1.1.81] ENERCON
Specification Transformer 4,6MVA 630V KW M
Dokumenten-Nr.: D0726692-4
Rev. -, Datum: 20.06.2019

- [1.1.82] ENERCON
Specification Transformer 5,0MVA 630V KW M
Dokumenten-Nr.: D0747721-5
Rev. -, Datum: 19.07.2019

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

- [1.1.84] J. Schneider Elektrotechnik
Technical data sheet HPNW 5000A
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190719
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850658-1
Rev. -, Datum: 19.07.2019

- [1.1.85] J. Schneider Elektrotechnik
Technical data sheet HPNW 5000A
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190719
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850655-1
Rev. -, Datum: 19.07.2019

- [1.1.86] Siemens AG Österreich
Technical data sheet – ENERCON SAP XXXXX
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850158-1
Rev. 00, Datum: 18.07.2019

- [1.1.87] SBG
Technical specification VEY17265
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0848970-1
Rev. -, Datum: 27.02.2019

- [1.1.88] SBG
Technical specification VEY17266
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0848966-1
Rev. -, Datum: 27.02.2019

Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.89] 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

- [1.1.90] 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

- [1.1.91] Driescher
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0751294-0
Rev. -, Datum: 19.09.2018

- [1.1.92] Driescher
Technical description ABS® zero
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0708521-0
Rev. -, Datum: 19.09.2019 (empfangen)

- [1.1.93] Driescher
Schaltplan MINEX-24KV A-L
Dokumenten-Nr.: ES0178874
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0753508-0
Rev. -, Datum: 05.09.2018

- [1.1.94] Driescher
Typprüfung SF₆-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)

- [1.1.95] Driescher
Typprüfung SF₆-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)

- [1.1.96] Driescher
Bestätigung MINEX[®] ABSzero[®] (12-24 kV)
Dokumenten-Nr.: Bestätigung MINEX ABS zero Typprüfung 07-15
Rev. -, Datum: 07.11.2019

- [1.1.97] Driescher
Bestätigung MINEX[®] ABSzero[®] (36 kV)
Dokumenten-Nr.: Bestätigung MINEX ABS zero Typprüfung 07-15
Rev. -, Datum: 07.11.2019

EMV

-

1.2 Zugehörige Dokumente

- [1.2.1] ENERCON
Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0765798-0
Rev. 0, Datum: 22.08.2019

- [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
Provisional Evaluation Report ENERCON E-138 EP3 E2
Electrical Equipment and Lightning Protection
Report No.: 8117 142 915 – 5 E, Rev. 0, dated 20.11.2019

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
Fundamentender – 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 oder 160 m	138.25 m / E-138 EP3-RB-02	STW / CCV ¹

Table 4-1: WEA Konfiguration

Die IEC 61400-1 führt eine Standardluftdichte von 1,255 kg/m³ 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 ²	-40 °C bis 50 °C

Table 4-2: Temperaturversionen

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 ⁻¹ (10,5 min ⁻¹)

¹ STW: Standard Weather Edition, CCV: Cold Climate Version

² Leistungsreduktion für Temperaturen unter -30 °C.

Frequenz:	0 – 11,1 Hz (11,1 Hz)
Isolationsklasse:	F
Anzahl Pole:	57
Schutzart:	IP23
Kühlungsart:	IC3A6
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 20 °C ³

- **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
Überspannungskategorie:	III
Frequenz:	50/60 Hz ±7 Hz
Schutzart:	IP01 (IP21 installiert)
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 50 °C ⁴

- **Pitchsystem**

- Motor**

Hersteller:	Emod
Typ:	Gleichstrommotor
Bezeichnung:	GKFB160L/4-220
WEA Variante:	1

³ Steigt die Umgebungstemperatur über 20 °C, greift ggf. die thermische Regelung des Generators. Dabei wird der Generator temperaturgeregelt weiterbetrieben, was zu einer Leistungsreduktion führen kann.

⁴ Betrieb bis -40 °C mit reduzierter Leistung.

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 ⁻¹
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 ⁵
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 ⁻¹

⁵ Die Ultrakondensatoren werden vom Hersteller in Modulen installiert (Modul 94 F, 75 V).

Frequenz:	50 Hz ⁶
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
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 ⁻¹
Schutzart:	IP53
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 70 °C

⁶ Der Motor wird über einen Frequenzumrichter betrieben. Deshalb kann der Motor auch für die 60 Hz Variante eingesetzt werden.

• **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 ⁷	50 Hz ⁷	50 Hz ⁷
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
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 ⁷	50 Hz ⁷	50 Hz ⁷
Nennleistung:	5000 kVA	5000 kVA	5000 kVA
Nennspannung (HV):	20000 V	20000 V	30000 V
Nennspannung (LV):	630 V	630 V	630 V

⁷ Der Transformator muss projektspezifisch angepasst werden. Wir haben keine Einwände, die aufgeführten Transformatoren in 60 Hz Varianten zu installieren.

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

- **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 ⁸
Isolationsmedium:	SF ₆
Störlichtbogenklassifikation:	IAC AFLR 20kA 1s
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 60 °C

- **Blitzschutz**

Gefährdungspegel:	LPL I
-------------------	-------

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.

⁸ Schaltgehäuse IP67, Frontabdeckung IP2X, Kabelfeld IP3X

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 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. Die finale Version ist der Zertifizierungsstelle zu übermitteln.
- 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. 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 Test zur thermischen Erwärmung wird zusammen mit dem Generator im Prototypen der WEA E-138 EP3 E2 durchgeführt. Weiterhin sind Prüfungen zum Nachweis der Erfüllung von den EMV-Anforderungen durchzuführen. ENERCON muss die Testberichte noch einreichen [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 [1.1.35] - [1.1.41].

- Azimutantrieb

Die E-138 EP3 E2 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.29]. 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 [1.1.30] - [1.1.34].

- Schleifring

Die WEA E-138 EP3 E2 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem, Bezeichnung EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1 [1.1.27], [1.1.28], 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 [1.1.81] und [1.1.82] gefordert. Des Weiteren sind in [1.1.83] 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 [6.3].

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 [1.1.89] 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 [1.1.47] - [1.1.80] 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 [1.1.35] 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 [1.1.45] mit einem Querschnitt von 1x240 mm², und im Turm Aluminiumkabel, z. B. PROTOTHEN-X (N)A2XSY von Prysmian [1.1.44] mit einem Querschnitt von 1x240 mm², verwendet. Die Berechnung der Stromtragfähigkeit ist ausreichend in [1.1.43] 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 [1.1.15]. Dies ist das höchstmögliche Schutzlevel. Die Festlegung der verschiedenen Blitzschutz-zonen sowie auch der Potentialausgleich sind ebenfalls in diesem Dokument beschrieben.

Die Erdungsanlage der E-138 EP3 E2 ist in [1.1.80] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.26] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in den Zeichnungen [1.1.16] und [1.1.17] 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 [1.1.18]. 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 [1.1.19]. 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 [1.1.20] - [1.1.25] 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 [6.4].

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. ENERCON sollte eine Beschreibung der Heizstrategie vorlegen [6.5]. Darin sollte beschrieben sein, dass durch Zusatzheizungen und Temperatursensoren die Komponenten nur in dem Auslegungstemperaturbereich betrieben werden.

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.
- 6.3 ENERCON soll die fehlenden Unterlagen von den Transformatorherstellern an die Zertifizierungsstellen übermitteln.
- 6.4 Die Prüfprotokolle der EMV-Messungen sind der Zertifizierungsstelle zu übermitteln.
- 6.5 Es ist von ENERCON eine Heizstrategie für die Kalt-Wetter-Variante vorzulegen.

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:

A blue ink signature in cursive script, appearing to read "H. Grafe".

M. Sc. Holger Grafe

Freigabe:

A blue ink signature in cursive script, appearing to read "R. Kotte".

Dr. Ralf Kotte

Gutachtliche Stellungnahme

**für die Typenprüfung der Windenergieanlage E-138 EP3 E2
unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen**

- Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117 142 915 - 3 D, Rev. 0

Gegenstand der Prüfung: Konstruktion und statischer Blatttest für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02. Mit Lasten nach DIBt (2012)

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Dokumentation: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Hinweis: Die Lasten der Konfigurationen 1 und 5 sind aktuell nicht geprüft!

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	26.11.2019	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Passow

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	5
3	Einleitung	6
4	Beschreibung der Komponente	6
4.1	Klimatische Bedingungen.....	6
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	6
4.3	Designlasten	7
4.4	Materialien.....	8
5	Durchgeführte Prüfung.....	8
5.1	Prüfmethode.....	8
5.2	Anmerkungen	9
5.3	Ergebnisse	10
5.4	Schnittstellen	10
6	Auflagen.....	10
7	Schlussfolgerung	11

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.0, Datum: 01.11.2019

Design Basis

- [1.2.3] "Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2"
Dokument-Nr.: D0765798-1a, Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

- [1.2.4] 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

- [1.2.5] "Spezifikation statische und dynamische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"
Dokument-Nr.: D0842787-2, Rev. 2, Datum: 15.11.2019
- [1.2.6] "Auswertung - Statische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"
Dokument-Nr.: D0889232-0, Rev. 0, Datum: 15.11.2019
- [1.2.7] 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

- [1.2.8] 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
- [1.2.9] 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).

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 \pm 3,5%
(inkl. Bolzen, mit Heizung)	20280 kg \pm 3,5%
Schwerpunkt: (Nabenmitte, ohne Heizung)	20,98 m
(Nabenmitte, mit Heizung)	20,78 m
Statisches Moment: (Nabenmitte, ohne Heizung)	419 710 kgm \pm 3.5%
(Nabenmitte, mit Heizung)	421 420 kgm \pm 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	

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	Nennleistung	Nabenhöhe	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		
4	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02	50 / 60 Hz	4,2 MW	131 m		Nicht geprüft
5	E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	131 m		
6	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	149 m		[1.2.2]
7	E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	160 m		

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].

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 Lamine 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):



Dipl.-Ing. M. Passow

Freigegeben:



Dipl.-Ing. M. Polster

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

Dipl.-Ing. (FH) C. Panske (Blattanschluss)

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 E2

- Maschinenbauliche Komponenten -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8117 142 915-4 D Rev. 0

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

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. 0, vom 01.11.2019

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]
Blattverstellungssystem:	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. 1-5 (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. 1-5 (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. 1-5 (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. 1-5 (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. 1-5 (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. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.2 Alternative Komponente

Hersteller: SKF GmbH
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
Nabenseitig
Handelsbezeichnung: BT1-8212 A/VK443
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8212 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019
Generatorseitig
Handelsbezeichnung: BT1-8213 A/VK443
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8213 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.3 Alternative Komponente

Hersteller: FAG Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
Nabenseitig
Handelsbezeichnung: F-627880.TR1-WPOS-H113
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-627880.TR1-WPOS 000,
Rev. AB, vom 12.03.2018
Generatorseitig
Handelsbezeichnung: F-627881.TR1-WPOS-H113
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-627881.TR1-WPOS 000,
Rev. AB, vom 12.03.2018
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.6 Rotorträger

4.3.6.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Gussteil
Material: EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.105-2, Rev. 2, vom 04.07.2019

Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (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. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.8 Achsdeckel

4.3.8.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Stahlteil
Material: C45 (DIN EN 10083)
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.059-3, Rev. 3, vom 15.05.2018
Hinweis: Inkl. Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.9 Rotorarretierung

4.3.9.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
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. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.10 Rotorbremse

4.3.10.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: KTR Systems GmbH
Typ: Hydraulische Scheibenbremse
Handelsbezeichnung: KTR-STOP YAW L C-30
Hauptzeichnung Nr.: M 711257, Rev. 2, vom 05.03.2018
Anzahl der Bremsen: 3
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.11 Maschinenträger

4.3.11.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	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. 1-5 (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. 1-5 (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. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14 Azimutgetriebe

4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
-------------	-----------------------------------

Typ: Vierstufiges Planetengetriebe
 Handelsbezeichnung: DAT 400/3446 (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. 1-5 (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. 1-5 (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. 1-5 (siehe Tabelle 4.2)

4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

Die Eignung der maschinenbaulichen Komponenten wurde für die in Tabelle 4.2 gelisteten Windenergieanlagen geprüft. Hierfür wurden die vom Hersteller ENERCON GmbH eingereichten Prüfunterlagen zugrunde gelegt. Für die dort aufgeführten Anlagenkonfigurationen liegen geprüfte Lastannahmen vor, die im Detail dem Dokument unter Punkt 1.3 zu entnehmen sind.

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	DIBt Windzone	Geländekategorie
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

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

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. C. Burges
Dr.-Ing. Y. Ou
M.Eng. R. Sommerfeld
M.Eng. M. Schiermann
M.Sc. M. Schmitt

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. 0

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 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	19.11.2019	Erstausgabe	Dr.-Ing. Y. Ou

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
1.3	Zugehörige Prüfberichte	5
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einleitung	6
4	Beschreibung der Windenergieanlagen	6
4.1	Anlagenkonzept	6
4.2	Umgebungsbedingungen	6
4.3	Geprüfte Verkleidungen und Strukturen	7
4.3.1	Maschinenhausverkleidung.....	7
4.3.2	Generatorverkleidung.....	7
4.3.3	Gondelbühne	8
4.3.4	Dachmodul	8
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	9
5	Durchgeführte Prüfungen.....	9
5.1	Prüfmethoden.....	9
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen	10
5.3	Hinweise und Annahmen	10
5.4	Prüfergebnis	10
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

Gondelbühne

- [1.1.4] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Gondelbühne, Statik
Dokument Nr.: D0856173-0
Rev. 0, vom 23.08.2019

Dachmodul

- [1.1.5] 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

- [1.1.6] 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.: D0687898-2
Rev. 2, vom 03.07.2019

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. 0, vom 01.11.2019

1.4 Zugehörige Prüfberichte

- [1.4.1] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:
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 EnSys GmbH & Co. KG:
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	$-40\text{ °C} < t < +40\text{ °C}$	$-40\text{ °C} < t < +50\text{ °C}$

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

4.3 Geprüfte Verkleidungen und Strukturen

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

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

4.3.1 Maschinenhausverkleidung

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
 Typ: GFK-Struktur
 Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
 Hauptzeichnung Nr.: D0860520-0, Rev. 0, vom 2019-10-24
 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]
 Hauptzeichnung Nr.: D0858989-1, Rev. 1, vom 2019-11-07
 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

Auslegung: ENERCON GmbH
 Typ: GFK-Struktur
 Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
 Hauptzeichnung Nr.: D0860520-0, Rev. 0, vom 2019-10-24
 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

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Hauptzeichnung Nr.: D0858989-1, Rev. 1, vom 2019-11-07
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)

4.3.3 Gondelbühne

4.3.3.1 Komponentenspezifikation E-115 EP3 E3

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Stahlstruktur
Material: S235JR / S355JR
Hauptzeichnung Nr.: D0860518-0, Rev. 0, vom 2019-08-20
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]
Hinweis: Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung
übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit
 $V_{e50}=70$ m/s in Nabenhöhe
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3.2 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Stahlstruktur
Material: S235JR / S355JR
Hauptzeichnung Nr.: D0858516-0, Rev. 0, vom 2019-08-28
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]
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-02)	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_{ref} – 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 aufgetragenen 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, appearing to be "Y. Ou".

Dr.-Ing. Y. Ou

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "W. Aldenhoff".

Dr.-Ing. W. Aldenhoff