

3.9 Sonstiges

Typenprüfung Enercon E138 EP3 E2

Anlagen:

- TP_138_EP3_E2-HST-131-FB-C-01 Rev.0.pdf

Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen

ENERCON

E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01

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

Rev. 0

1 Prüfbescheid zur Typenprüfung	T-7023/20 Rev. 0
Datum 04.12.2020	
2 Hybrid-Stahlurm	T-7023/20-1 Rev. 0 Datum 04.12.2020
2.1 Zusammenstellungsplan Turm	D1000062-0
2.2 Fundamentkorb Statik	D0993199-1
3 Flachgründung ohne Auftrieb Ø 21,60 m	T-7023/20-2 Rev. 0
Datum 04.12.2020	
3.1 Schalplan	D0984352-1
3.2 Bewehrungsplan 1	D0984353-0
3.3 Bewehrungsplan 2	D0984354-0
3.4 Fundamentdatenblatt	D0965617-5
4 Tiefgründung ohne Auftrieb Ø 18.20 m	T-7023/20-3 Rev. 0
Datum 04.12.2020	
4.1 Schalplan Variante A 30x	D0988601-1
4.2 Schalplan Variante B 24x	D0988602-1
4.3 Schalplan Variante C 20x	D0988603-1
4.4 Bewehrungsplan 1	D0988607-1
4.5 Bewehrungsplan 2	D0988608-0

4.6 Fundamentdatenblatt**D0965749-2****5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen**

- 5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament** 8118099019-1 D III Rev. 0
Datum 28.10.2020
- 5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau** 8117142915-1 D VI Rev. 2
Datum 23.11.2020
- 5.3 Sicherheitssystem und Handbücher** 8117 142 915-2 D Rev. 3
Datum 16.11.2020
- 5.4 Rotorblatt E-138 EP3-RB-02** 8117142915-3 D Rev. 2 Datum 24.11.2020
- 5.5 Maschinenbauliche Komponenten** 8117142915-4 D Rev. 2
Datum 23.11.2020
- 5.6 Elektrische Komponenten und Blitzschutz** 8117142915-5 D Rev. 2
Datum 23.11.2020
- 5.7 Turmkopfflansch** 8115 022 604-11 D II Rev.2 Datum 24.08.2020
- 5.8 Verkleidungen & Strukturen** 8116503696-12 D Rev. 2 Datum 27.11.2020

6 Revisionstabelle

Datum	Änderung
08.12.2020	Dokument erstellt
Rev. 0	<ol style="list-style-type: none"> 1 Prüfbescheid zur Typenprüfung T-7023/20 Rev. 0 Datum 04.12.2020 2 Hybrid-Stahlurm T-7023/20-1 Rev. 0 Datum 04.12.2020 2.1 Zusammenstellungsplan Turm D1000062-0 2.2 Fundamentkorb Statik D0993199-1 3 Flachgründung ohne Auftrieb \varnothing 21,60 m T-7023/20-2 Rev. 0 Datum 04.12.2020 3.1 Schalplan D0984352-1 3.2 Bewehrungsplan 1 D0984353-1 3.3 Bewehrungsplan 2 D0984354-1 3.4 Fundamentdatenblatt D0965617-5 4 Tiefgründung ohne Auftrieb \varnothing 18,20 m T-7023/20-3 Rev. 0 Datum 04.12.2020 4.1 Schalplan Variante A 30x D0988601-1 4.2 Schalplan Variante B 24x D0988602-1 4.3 Schalplan Variante C 20x D0988603-1 4.4 Bewehrungsplan 1 D0988607-1 4.5 Bewehrungsplan 2 D0988608-0 4.6 Fundamentdatenblatt D0965749-2 5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen 5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament 8118099019-1 D III Rev. 0 Datum 28.10.2020 5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8117142915-1 D VI Rev. 2 Datum 23.11.2020 5.3 Sicherheitssystem und Handbücher 8117 142 915-2 D Rev. 3 Datum 16.11.2020 5.4 Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 8117142915-3 D, Rev. 2 Datum 24.11.2020 5.5 Maschinenbauliche Komponenten 8117142915-4 D Rev. 2 Datum 23.11.2020 5.6 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8117142915-5 D Rev. 2 Datum 23.11.2020 5.7 Turmkopfflansch 8115 022 604-11 D II Rev.2 Datum 24.08.2020 5.8 Verkleidungen & Strukturen 8116503696-12 D Rev. 2 Datum 27.11.2020

Essen, 04.12.2020

Prüfbescheid zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02,
Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01,
DIBt Windzone S, Geländekategorie II**

Prüfbescheid Nr.: T-7023/20 Rev. 0

Typenentwurf: Hybrid-Stahlurm und Fundamente für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)

Antragsteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Geltungsdauer bis: 31.12.2025

Dieser Prüfbescheid gilt nur in Verbindung mit dem unter Punkt 4 genannten Prüfbericht zur Typenprüfung und gutachtlichen Stellungnahmen.

Der Prüfbescheid umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	04.12.2020	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Bestimmungen	3
2	Einleitung	3
3	Prüfgrundlagen	3
4	Dokumente	4
4.1	Anlagen zum Prüfbescheid	4
4.2	Prüfbericht zur Typenprüfung	4
4.3	Dazugehörige Dokumente	4
4.4	Gutachtliche Stellungnahmen	5
5	Beschreibung	6
5.1	Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01	6
5.2	Flachgründung mit Teilauftrieb	7
5.3	Tiefgründung mit Teilauftrieb	7
6	Umfang der Prüfung	7
7	Baustoffe	8
8	Bemerkungen	8
9	Auflagen	9
10	Zusammenfassung	10

1 Allgemeine Bestimmungen

1.1 Diese Typenprüfung entbindet die Bauaufsichtsbehörde zwar von der Verpflichtung zur nochmaligen Prüfung in statischer Hinsicht, nicht jedoch von der Verpflichtung zu überwachen, ob die Bauausführung mit diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung und seinen unter Punkt 4 aufgeführten Prüfberichten zur Typenprüfung übereinstimmt.

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

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

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

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

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

2 Einleitung

Gegenstand dieses Prüfbescheids ist die Typenprüfung des Hybrid-Stahlurms E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 und der dazugehörigen Fundamente, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurden.

3 Prüfgrundlagen

[3.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Korrigierte Fassung 03.2015):
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“

[3.2] DIN EN 61400-1 (08.2011):
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“

Ferner gelten die in den Prüfberichten zur Typenprüfung genannten Prüfgrundlagen.

4 Dokumente

4.1 Anlagen zum Prüfbescheid

Folgende Anlagen beschreiben die Windenergieanlage dieser Typenprüfung:

Anlage Nr. 1 ENERCON GmbH:
„Technische Beschreibung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2“, Dokument-Nr.: D0745897-8, Rev. 8, Datum: 02.09.2020

Anlage Nr. 2 ENERCON GmbH:
„Ansichtszeichnung Hybrid-Stahlurm, E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01“, Dokument-Nr.: EP3.00.215 - 2, Rev. 2, Datum: 23.09.2020

4.2 Prüfbericht zur Typenprüfung

[4.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, DIBt Windzone S, Geländekategorie II, - Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 -“, Prüfbericht Nr.: T-7023/20-1 Rev. 0, Datum: 04.12.2020

[4.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, DIBt Windzone S, Geländekategorie II, - Flachgründung mit Teilauftrieb, D=21,60 m -“, Prüfbericht Nr.: T-7023/20-2 Rev. 0, Datum: 04.12.2020

[4.2.3] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, DIBt Windzone S, Geländekategorie II, - Tiefgründung mit Teilauftrieb, D=18,20 m -“, Prüfbericht Nr.: T-7023/20-3 Rev. 0, Datum: 04.12.2020

4.3 Dazugehörige Dokumente

[4.3.1] ENERCON GmbH:
„Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2, Rev.1a“, Dokument-Nr.: D0765798-1a, Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

[4.3.2] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 der WEA E-138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC“, Dokument-Nr.: D0945981-1, Rev. 1, Datum: 09.09.2020

- [4.3.3] ENERCON GmbH:
„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.: D0830642-2b, Rev. 2b, Datum: 13.11.2020
- [4.3.4] ENERCON GmbH:
„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.: D0834228-1d, Rev. 1d, Datum: 13.11.2020
- [4.3.5] TÜV SÜD Industrie Service GmbH:
„Certification Report Subject: Design Evaluation – Weld-treatment for Tubular Steel Towers Detail category DC 100 for circumferential butt weld joints between tower shells and for fillet welds with TIG dressing at welded bushes“,
Bericht-Nr.: 3304232-1-e, Rev. 0, Datum: 24.09.2020

4.4 Gutachtliche Stellungnahmen

- [4.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8118099019-1 D III Rev. 0, Datum: 28.10.2020
- [4.4.2] 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. 2, Datum: 23.11.2020
- [4.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:
„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. 3, Datum: 16.11.2020
- [4.4.4] 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 -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-3 D, Rev. 2, Datum: 24.11.2020
- [4.4.5] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 E2, - Maschinenbauliche Komponenten -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-4 D Rev. 2, Datum: 23.11.2020

- [4.4.6] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme, ENERCON E-138 EP3 E2,
- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-5 D Rev. 2, Datum: 23.11.2020
- [4.4.7] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 und E-138
EP3 E2, verschiedene Konfigurationen - Turmkopfflansch -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115 022 604-11 D II Rev.2, Datum: 24.08.2020
- [4.4.8] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2, - Verkleidungen & Strukturen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-12 D Rev. 2, Datum: 27.11.2020

5 Beschreibung

5.1 Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01

Der Stahlurm hat eine Höhe von 125,426 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus acht Sektionen. Die oberen drei Sektionen sind werksseitig geschweißte Stahlrohrkonstruktionen, wobei die Sektion 3 unten mit einem kaltverformten Übergangsstück endet. Die Stahlrohrsektionen werden mittels vorgespannter, innenliegender L-Ringflanschverbindungen auf der Baustelle zusammengeschaubt. Der Kopfflansch wird außenliegend ausgeführt. Die unteren fünf Sektionen sind kaltverformte Blechkonstruktionen, sie haben einen polygonalen Querschnitt mit jeweils 24 Ecken (15° Winkel). Die Bleche werden bauseits über Koppelbleche und gleitfeste Schraubverbindungen zusammengefügt.

Die in [4.3.2] genannte Turmhöhe von 128,25 m beinhaltet zusätzlich einen 2,80 m hohen Fundamentsockel. Die Unterkante des T-Flansches bindet gemäß der Ansichtszeichnung Anlage Nr. 2 vier Zentimeter in den Fundamentsockel ein. Somit beträgt die effektive Turmhöhe 125,41 m und entspricht in etwa der in dem Turmbericht [4.2.1] genannten Höhe von 125,426 m.

Die unterste Sektion (Flanschsegment) ist durch einen angeschweißten T-Flansch und 2 x 108 vorgespannte Ankerbolzen M36-10.9 mit dem Fundament verbunden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Maximale Nennleistung	Rotorblatt	Rotor-Ø	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Gondelmasse
1	E-138 EP3 E2	131,0 m	4200 kW	E-138 EP3-RB-02 ^a	138,59 m ^b	WZ S	GK II	260,7 t

Tabelle 5.1: Geprüfte Konfiguration für Turmnachweise

- a) Die Rotorblätter sind mit Hinterkantenkämmen (Serrations), Vortexgeneratoren (VG) und Rotorblattspitzen (Blade Tips) ausgestattet. Diese zusätzlichen Anbauteile sind lastseitig erfasst (siehe [4.4.1] und [4.4.2]) und deren strukturelle Integrität und Verklebung mit dem Rotorblatt in [4.4.4] geprüft.
- b) Den Lastberechnungen (siehe [4.3.2], [4.3.3], [4.3.4]) wurde konservativ der nominal größere Rotordurchmesser 138,59 m zugrunde gelegt. Der projizierte Rotordurchmesser - unter Berücksichtigung des Konuswinkels und der Blattbiegung - beträgt jedoch 138,25 m (siehe Anlage Nr. 2).

5.2 Flachgründung mit Teilauftrieb

Das Kreisfundament weist einen Außendurchmesser von 21,60 m auf.

Der Turm ist über ein einen Ankerkorb mit dem Fundament verbunden.

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

5.3 Tiefgründung mit Teilauftrieb

Das Kreisfundament weist einen Außendurchmesser von 18,20 m auf und ist für die folgenden Pfahlvarianten ausgelegt:

- Variante A: 30 Ortbetonrammpfähle mit Ø 51 cm oder alternativ:
30 Fertigteiltrammpfähle mit 45/45 cm
- Variante B: 24 Ortbetonrammpfähle mit Ø 56 cm
- Variante C: 20 Bohrpfähle mit Ø 100 cm

Der Turm ist über ein einen Ankerkorb mit dem Fundament verbunden.

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

6 Umfang der Prüfung

Die bautechnische Prüfung umfasst den Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, den Ankerkorb und die Gründungen.

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

- zulässiger Turmeigenfrequenzbereich gemäß [4.4.1]

- Turmaußenabmessungen hinsichtlich des verbleibenden Freigangs bei durchgebogenen Rotorblättern

Der Turmkopfflansch, die Schweißnahtverbindung mit dem Turm und die Schraubverbindung mit dem Azimutlager wurden in [4.4.7] geprüft.

Lageplan und Baugrundgutachten (s. [3.1], Kapitel 3, Buchstaben B und H) sind nicht Bestandteil der Prüfung, Transportzustände ebenfalls nicht.

Die angesetzten Lasten aus der Windturbine werden in den gutachtlichen Stellungnahmen [4.4.1] und [4.4.2] bestätigt.

Die Bewertung der Sicherheitseinrichtungen und Handbücher, des Rotorblatts, der maschinenbaulichen Komponenten, der Verkleidung von Maschinenhaus und Nabe sowie der elektrotechnischen Komponenten und des Blitzschutzes erfolgt in den gutachtlichen Stellungnahmen [4.4.3] bis [4.4.6] und [4.4.8].

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

7 Baustoffe

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

8 Bemerkungen

- 8.1 Eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen zu den Nachweisen der Turmeinbauten (z.B. Arbeitsbühnen, Leitern oder Befahrenrichtungen) sowie die zugehörigen Schweißanschlüsse oder Verankerungen ist gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I, nicht erforderlich und dementsprechend auch nicht Gegenstand dieser Typenprüfung.
- 8.2 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 8.3 Die Anforderungen der in dem jeweiligen Bundesland geltenden Landesbauordnung sind zu beachten.
- 8.4 Etwaige Schäden an den in Betrieb genommenen Windenergieanlagen, wie z.B. unzulässige Risse, und daraus abgeleitete Reparatur- bzw. Sanierungsmaßnahmen sind dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen.

- 8.5 Ist nach Ablauf der rechnerisch zugrunde gelegten Lebensdauer von 25 Jahren (bzw. 15 Jahren, s. Auflage 9.2) ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage geplant, so ist hierzu Kapitel 17 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

9 Auflagen

- 9.1 Für jeden geplanten WEA-Standort ist ein Nachweis der Standorteignung gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Abschnitt 16.2 vorzulegen, dem die in [4.4.1] aufgeführten Auslegungsparameter für die Windzone S zu Grunde liegen.
- 9.2 Der Ermüdungsnachweis der Turmsektionen 2 und 3 wurde mit Ermüdungsfestigkeiten aus Versuchen und Kerbfallklasse 100 geführt. Das zum Erreichen des Kerbfalles 100 erforderliche Schweißverfahren bzw. die erforderliche Nachbehandlungsmethode werden in dem Gutachten [4.3.5] bestätigt. Gemäß DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12, NA 2.2, NDP zu 2(4) bedarf die Anwendung von Ermüdungsfestigkeiten aus Versuchen eines bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises. Ein solcher Nachweis ist spätestens zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Windenergieanlage durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu erbringen. Sollte eine entsprechende, allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme nicht vorliegen, ist die Betriebsdauer der Windenergieanlage auf zunächst 15 Jahre zu begrenzen, da in diesem Falle der Kerbfall 90 anzuwenden ist. Wird dann innerhalb der Betriebsdauer von 15 Jahren eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung der zuvor beschriebenen, versuchsbasierten Ermüdungsfestigkeiten vorgelegt, kann die Betriebsdauer der Windenergieanlage auf 25 Jahre verlängert werden.
- 9.3 Die betriebliche Schwingungsüberwachung ist so einzustellen, dass außergewöhnliche Zustände (z.B. unsymmetrischer Eisbesatz, Fehler in der Betriebsführung o.ä.), die zu stärkerem Schwingen des Turmes führen, erkannt werden und die Anlage geparkt wird.
- 9.4 Die Auflagen im Abschnitt 6 der Prüfberichte zur Typenprüfung (s. Punkt 4.2) und die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen (s. Punkt 4.4) sind zu beachten. Die gutachtlichen Stellungnahmen sind zur Bauakte zu nehmen.
- 9.5 Der Anlagenhersteller hat mittels Erklärung zu bescheinigen, dass die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen erfüllt sind und dass die Windenergieanlage gemäß den geprüften Anlagen in den Prüfberichten zur Typenprüfung errichtet worden ist. Diese Herstellererklärung ist der Bauaufsichtsbehörde vorzulegen und zur Bauakte zu nehmen.
- 9.6 Alle Bescheinigungen und Protokolle sind vom Betreiber aufzubewahren und müssen auf Verlangen der zuständigen Baubehörde vorgelegt werden.

- 9.7 Eine Bescheinigung über die einwandfreie Beschaffenheit der gelieferten Rotorblätter (Werksprüfzeugnis) ist vorzulegen.
- 9.8 In der gutachtlichen Stellungnahme [4.4.6] sind einige Auflagen bezüglich noch vorzulegender Nachweise bzw. Dokumentationen formuliert. Diese Auflagen sind für die Standsicherheit von Turm und Gründung im Wesentlichen nicht relevant, sind jedoch spätestens bis zur Inbetriebnahme der ersten Anlage zu erfüllen und mittels gutachtlicher Stellungnahmen zu bewerten.
- 9.9 Gemäß der gutachtlichen Stellungnahme [4.4.3], Auflage 6.1, ist das Handbuch für die Turmmontage mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Nabenhöhen zu ergänzen. Diese Auflage ist für die Standsicherheit von Turm und Gründung nicht relevant, ist jedoch spätestens bis zur Errichtung der ersten Anlage zu erfüllen und mittels gutachtlicher Stellungnahme zu bewerten.

10 Zusammenfassung

Der unter Punkt 5 beschriebene Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 und die dazugehörigen Gründungen sind für die in Tabelle 5.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration ausgelegt.

Die unter Punkt 4.4 aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen sind - unter Beachtung der Auflagen 9.8 und 9.9 - hinsichtlich der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I, vollständig und können für diese Windenergieanlage verwendet werden.

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

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

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause



Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2,
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, DIBt Windzone S, Geländekategorie II**

- Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 -

Prüfbericht Nr.:	T-7023/20-1 Rev. 0
Gegenstand der Prüfung:	Standicherheit des Hybrid-Stahlurms E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Anlagenhersteller:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	k2 E + C GmbH Ditmar-Koel-Str. 24 20459 Hamburg Deutschland ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 14 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	04.12.2020	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	5
3	Einleitung	6
4	Beschreibung	7
4.1	Turm.....	7
4.2	Lastannahmen	7
4.3	Baustoffe	8
5	Prüfung	9
5.1	Umfang und Methodik	9
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	9
5.3	Ergebnisse	10
5.4	Schnittstellen	10
6	Auflagen.....	12
7	Zusammenfassung	13

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

- [1.1.1] k2 E + C GmbH:
„Turmstatik Stahlurm für die ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3-E2-HST-131-FB-C-01, Bericht-Nr. 200807-07“, Dokument-Nr.: D0961419-1, Rev. 1, Datum: 07.10.2020
- [1.1.2] K2 Engineering GmbH:
„Bewertung der Tieftemperaturzähigkeit des Fussflansches ENERCON E-138 EP3-E2-HST-131-FB-C-01, Bericht-Nr. 200807-10“, Dokument-Nr.: D0961420-0, Rev. 0, Datum: 04.08.2020
- [1.1.3] ENERCON GmbH:
„Statische und dynamische Berechnung E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Bauteil: Fundamentkorb“, Dokument-Nr.: D1007572-0, Rev. 0, Datum: 02.10.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

- [1.1.4] ENERCON GmbH:
„Zusammenstellung Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01“, Dokument-Nr.: D1000062-0, Rev. 0, Datum: 01.09.2020
- [1.1.5] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 1“, Dokument-Nr.: D0993191-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.6] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 2“, Dokument-Nr.: D0993192-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.7] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 3“, Dokument-Nr.: D0993193-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.8] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 4“, Dokument-Nr.: D0993194-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.9] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 5“, Dokument-Nr.: D0993195-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.10] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 6“, Dokument-Nr.: D0993196-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.11] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 7“, Dokument-Nr.: D0993197-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.1.12] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Sektion 8“, Dokument-Nr.: D0993198-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020

[1.1.13] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Fundamentkorb Statik“,
Dokument-Nr.: D0993199-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020

Anforderungen an das Fundament

[1.1.14] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Fundamentlasten“,
Dokument-Nr.: D0921906-1, Rev. 1, Datum: 18.05.2020

Spezifikationen

[1.1.15] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage Fundamentkorb E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 & E-115 EP3
E3-HST-122-FB-C-01“, Dokument-Nr.: D0967182-3, Rev. 3, Datum: 01.09.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen

[1.2.1] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 Abdeckende Betriebs-
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 der WEA E-
138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC“,
Dokument-Nr.: D0945981-1, Rev. 1, Datum: 09.09.2020

[1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II
- Lastannahmen für Turm und Fundament -“,
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8118099019-1 D III Rev. 0, Datum: 28.10.2020

Kopfflansch

[1.2.3] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“,
Dokument-Nr.: 115.03.003-4, Rev. 4, Datum: 20.04.2020

[1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 und E-138
EP3 E2, verschiedene Konfigurationen - Turmkopfflansch -“,
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604-11 D II Rev.2, Datum: 24.08.2020

Zertifizierungsbericht zur Schweißnahtbehandlung bei Stahlrohrtürmen

- [1.2.5] TÜV SÜD Industrie Service GmbH:
„Certification Report Subject: Design Evaluation – Weld-treatment for Tubular Steel Towers Detail category DC 100 for circumferential butt weld joints between tower shells and for fillet welds with TIG dressing at welded bushes“,
Bericht-Nr.: 3304232-1-e, Rev. 0, Datum: 24.09.2020

Spezifikationen

- [1.2.6] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Verschrauben von Ringflanschen“,
Dokument-Nr.: D0215476-2, Rev. 2, Datum: 05.01.2017
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Oberflächenbehandlung Stahlurm“,
Dokument-Nr.: D1005701-0, Rev. 0, Datum: 23.10.2020
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Kerbfall 100 bei Rundnähten von ENERCON Stahlrohrtürmen“,
Dokument-Nr.: D0973115-1, Rev. 1, Datum: 27.10.2020

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1991-1-1:2010-12 + DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015-05: „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1991-1-4:2010-12 + DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12:
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten“
- [2.5] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“

- [2.6] DIN EN 1993-1-1:2010-12 + DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.7] DIN EN 1993-1-2:2010-12 + DIN EN 1993-1-2/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall“
- [2.8] DIN EN 1993-1-6:2010-12 + DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen“
- [2.9] DIN EN 1993-1-8:2010-12 + DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“
- [2.10] DIN EN 1993-1-9:2010-12 + DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung“
- [2.11] DIN EN 1993-1-10:2010-12 + DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung“
- [2.12] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.13] Verein Deutscher Ingenieure:
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen“, VDI 2230 Blatt 1, 11.2015
- [2.14] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAFStb Heft 439, 1994

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung des Hybrid-Stahlturms E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 und des zugehörigen Ankerkorbs, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurden.

4 Beschreibung

4.1 Turm

Der Stahlurm hat eine Höhe von 125,426 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus acht Sektionen. Die oberen drei Sektionen sind werksseitig geschweißte Stahlrohrkonstruktionen, wobei die Sektion 3 unten mit einem kaltverformten Übergangsstück endet. Die Stahlrohrsektionen werden mittels vorgespannter, innenliegender L-Ringflanschverbindungen auf der Baustelle zusammengeschaubt. Der Kopfflansch wird außenliegend ausgeführt. Die unteren fünf Sektionen sind kaltverformte Blechkonstruktionen, sie haben einen polygonalen Querschnitt mit jeweils 24 Ecken (15° Winkel). Die Bleche werden bauseits über Koppelbleche und gleitfeste Schraubverbindungen zusammengefügt.

Die unterste Sektion (Flanschsegment) ist durch einen angeschweißten T-Flansch und 2 x 108 vorgespannte Ankerbolzen M36-10.9 mit dem Fundament verbunden.

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

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Gelände-kategorie	Turmnachweise
1	E-138 EP3 E2	4200 kW	E-138 EP3-RB-02	WZ S	GK II	[1.1.1] - [1.1.3]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Turmnachweise

Die betrachtete Windenergieanlagenkonfiguration hat folgende technische Basisdaten:

Nabenhöhe:	131,0 m
Gondelmasse (inkl. Rotor):	260,7 t
Rotordurchmesser (nominell)	138,59 m
Rotordurchmesser (projeziert)	138,25 m*

*) Projektion unter Berücksichtigung von Konuswinkel und Rotorblattbiegung

In [1.1.1] wurde die erste Turmeigenfrequenz für Schwingungen in Schubrichtung (foreaft) bei elastischer und bei starrer Fundamenteinspannung ermittelt:

$$f_0 = 0,156 \text{ Hz bei elastischer Einspannung (} k_{\phi, \text{dyn}} = 100\,000 \text{ MNm/rad)}$$

$$f_0 = 0,160 \text{ Hz bei starrer Einspannung}$$

4.2 Lastannahmen

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

Die folgenden Lastannahmen liegen der Turmberechnung zugrunde:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3 E2	131,0 m	4200 kW	E-138 EP3-RB-02	WZ S	GK II	[1.2.1]	[1.2.2]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Lastannahmen sind für eine ungekoppelte Turmeigenfrequenz von 0,156 Hz (elastische Einspannung) sowie von 0,160 Hz (starre Einspannung), jeweils mit einem zulässigen Intervall von $\pm 5\%$, gültig. Die genannten Werte gelten für Schwingungen in Schubrichtung (fore-aft).

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

Falls die Auflage 6.2 nicht erfüllt wird, ist die Betriebsdauer der Windenergieanlage auf 15 Jahre zu begrenzen.

Einwirkungen aus asymmetrischem Eisansatz an den Rotorblättern wurden nicht berücksichtigt, da sie durch ein Eisdetektionssystem ausgeschlossen werden.

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. der Zeichnung [1.2.3] (Turmkopfflansch) entnommen werden.

Turm

Baustahl:	S355, S420	DIN EN 10025-1 bis -3 DIN EN 10025-3
L-Flanschschrauben:	HV-Garnituren Festigkeitsklasse 10.9	DAST-RiLi 021 DIN EN ISO 898-1
Gleitfeste Verbindungen:	HRC-Garnituren Festigkeitsklasse 10.9	DIN EN 14399-10 DIN EN ISO 898-1

Für die Ringflansche werden folgende Werte der Streckgrenze angenommen:

- Kopfflansch: $R_{eH} = 265 \text{ MPa}$
- Flansch zwischen Sektion 1 und 2: $R_{eH} = 295 \text{ MPa}$
- Flansch zwischen Sektion 2 und 3: $R_{eH} = 285 \text{ MPa}$
- T-Flansch: $R_{eH} = 285 \text{ MPa}$

Ankerkorb

Ankerbolzen:	Festigkeitsklasse 10.9	DIN EN ISO 898-1
--------------	------------------------	------------------

Gewinde, Muttern und Unterlegscheiben:	M36	DIN EN 1993-1-8, Bezugsnormengruppe 4
Ankerring: Beton im Lastein- leitungsbereich:	S235J0 C35/45	DIN EN 10025-2 DIN EN 206-1, DIN 1045-2

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

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

Die Prüfung umfasst den Hybrid-Stahlurm, den Ankerkorb und den mit den Stahlteilen in Kontakt stehenden Beton.

Wirbelerregte Querschwingungen wurden gemäß DIBt-Richtlinie, Abschnitt 9.4 für den betriebsbereiten Endzustand und für verschiedene Montagezustände berücksichtigt (s. [1.1.1]). Weitere Montagezustände sowie Zustände während des Transports sind nicht Bestandteil der Prüfung.

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

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

- zulässiger Turmeigenfrequenzbereich gemäß Abschnitt 4.2
- Turmaußenabmessungen hinsichtlich des verbleibenden Freigangs bei durchgebogenen Rotorblättern

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

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

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

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

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

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

Der Ermüdungsnachweis einiger Schweißnähte für Einbauten sowie umlaufender Stumpfnähte in den Rohrsegmenten erfolgte mit der Kerbfallklasse 100. Die Anwendbarkeit dieser Kerbfallklasse bei einer spezifischen Schweißnahtvorbereitung bzw. -nachbehandlung wurde in [1.2.5] bewertet.

Die in [1.1.5] dargestellte Kopfflanschgeometrie stimmt mit den Angaben in [1.2.3] überein. Die strukturelle Integrität des Kopfflansches und seiner Schrauben wurde in [1.2.4] geprüft.

Die unter Abschnitt 1.1 aufgeführten Unterlagen sind mit einem TÜV NORD Stempel versehen. Folgende Grüneinträge sind zu beachten: [1.1.6], [1.1.7].

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Maschinenbauliche Komponenten

5.4.1 Die in der gutachtlichen Stellungnahme [1.2.4] enthaltene Schnittstelle 5.4.1 ist überprüft und geklärt.

Einbauten

5.4.2 In den Zeichnungen [1.1.5] bis [1.1.7] sind Bereiche mit unterschiedlichen Kerbfallklassen dargestellt. Ferner gibt es dort Bereiche, wo keine Anschweißungen zulässig sind. Für die Anschweißungen, die Kerbfall 100 erfüllen müssen, ist ein Verwendbarkeitsnachweis in Form einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vorzulegen. Kann eine solche Zulassung nicht vorgelegt werden, müssen die entsprechenden Einbauten mindestens den Kerbfall 90 erreichen. Ferner ist in diesem Falle die Betriebsdauer der Windenergieanlage auf 15 Jahre zu begrenzen (s. Auflage 6.2).

5.4.3 An die kaltverformten Bleche der Sektionen 4 bis 8 (s. Zeichnungen [1.1.8] bis [1.1.12]) dürfen keine Einbauten geschweißt werden. Für die kaltverformten Bauteile der Sektion 3 (s. Zeichnung [1.1.7]) gilt: Es dürfen nur Einbauten der Kerbfallklasse 100 gemäß [1.2.5] mit einem Mindestabstand von 200 mm zu Bohrungen und gebogenen Kanten angeschweißt werden.

Fundament

- 5.4.4 Die Anforderungen an das Fundament sind in [1.1.14], die Anforderungen an die geometrischen Abmessungen und das Vorspannen der Ankerstangen in [1.1.15] spezifiziert. Das in [1.1.14] definierte Kollektiv für MY deckt die Einwirkung, die sich sowohl aus den in Querrichtung wirkenden als auch aus Querschwingung resultierenden Lasten zusammensetzt, ab. Das in [1.1.14], Tabelle 3 enthaltene Ermüdungsspektrum darf nicht verwendet werden.
- 5.4.5 Um die Funktionsfähigkeit der Anlage nicht zu beeinträchtigen, darf durch Setzungsunterschiede eine Fundamentneigung (Schiefstellung der Turmachse) von 3 mm/m innerhalb der Auslegungsdauer nicht überschritten werden.
- 5.4.6 Die Vorspannkraft der Ankerbolzen von 470 kN darf erst aufgebracht werden, nachdem der Beton seine Nenndruckfestigkeit erreicht hat. Nach 3 Monaten muss die Vorspannkraft der Ankerbolzen überprüft und gegebenenfalls wieder aufgebracht werden, um etwaige Spannkraftverluste aus Kriech- und Schwindeffekten auszugleichen.
- 5.4.7 Der Nachweis des T-Flansches am Turmfuß basiert auf den folgenden Annahmen:
- 2 x 108 Ankerbolzen M36 - 10.9 (DIN EN ISO 898-1) mit einer Länge von 3150 mm
 - Schaftdurchmesser 33 mm
 - Minimale Vorspannkraft von 400 kN (ohne weitere Verluste)
 - Fundament mit der Festigkeitsklasse C35/45 (DIN EN 206-1, DIN 1045-2)
- 5.4.8 Wenn das realisierte Fundament erheblich von den unter 5.4.7 genannten Annahmen abweicht, muss der Nachweis des T-Flansches im Rahmen des Fundamentnachweises neu bewertet werden.

Montage & Inbetriebnahme

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

Turm ohne Top Sektion:	40 Tage
Turm ohne Gondel und Rotor:	183 Tage
Turm mit Gondel:	365 Tage
Turm mit Gondel und Generator:	365 Tage
Turm mit Gondel, Generator und Nabe:	365 Tage

Andernfalls sind geeignete Maßnahmen zur Sicherung gegen wirbelerregte Querschwingungen zu treffen. Bei Bauzuständen, die weder oben noch unter 5.4.10 aufgeführt sind, treten vortexinduzierte Querschwingungen nicht auf. Bei diesen Bauzuständen gibt es keine Einschränkungen.

5.4.10 Bei dem unten genannten Bauzustand darf die am oberen Turmende gemessene Windgeschwindigkeit einen Wert von $0,8 \cdot v_{crit}$ nicht überschreiten. Die maximal zulässige Windgeschwindigkeit beträgt somit:

Turm ohne die oberen zwei Sektionen: 20,4 m/s

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

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

5.4.11 Bei planmäßig vorgespannten Schrauben ist mindestens eine Sicht- und Lockerheitskontrolle durchzuführen.

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

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

6 Auflagen

Allgemeines

- 6.1 Für jeden geplanten WEA-Standort ist ein Nachweis der Standorteignung gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Abschnitt 16.2 vorzulegen, dem die in [1.2.2] aufgeführten Auslegungsparameter für die Windzone S zu Grunde liegen.
- 6.2 Der Ermüdungsnachweis der Sektionen 2 und 3 wurde mit Ermüdungsfestigkeitsversuchen und Kerbfallklasse 100 geführt. Das zum Erreichen des Kerbfalles 100 erforderliche Schweißverfahren bzw. die erforderliche Nachbehandlungsmethode werden in dem Gutachten [1.2.5] bestätigt. Gemäß DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12, NA 2.2, NDP zu 2(4) bedarf die Anwendung von Ermüdungsfestigkeitsversuchen eines bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises. Ein solcher Nachweis ist spätestens zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Windenergieanlage durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu erbringen. Sollte eine entsprechende, allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme nicht vorliegen, ist die Betriebsdauer der Windenergieanlage auf zunächst 15 Jahre zu begrenzen, da in diesem Falle der Kerbfall 90 anzuwenden ist. Wird dann innerhalb der Betriebsdauer von 15 Jahren eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung der zuvor beschriebenen, versuchsbasierten Ermüdungsfestigkeitsversuchen vorgelegt, kann die Betriebsdauer der Windenergieanlage auf 25 Jahre verlängert werden.

Stahlteil

- 6.3 Für die Ausführung der Stahlsektionen gilt DIN EN 1090. Als Mindestanforderung für Windenergieanlagen gilt die Ausführungsklasse EXC3.
- 6.4 Die Spezifikationen [1.2.6] bis [1.2.8] sind ist zu beachten.
- 6.5 Die Streckgrenze des für die Flansche verwendeten Materials muss mindestens den in Kapitel 4.3 genannten Werten entsprechen.
- 6.6 Die Toleranzen der Qualitätsklasse B gemäß DIN EN 1993-1-6 sind einzuhalten. Die Ergebnisse sind entsprechend zu dokumentieren.
- 6.7 Alle in dem Gutachten [1.2.5] aufgeführten Anforderungen an die Fertigung sind zu erfüllen.
- 6.8 Die Auswirkungen der Kaltverformungen auf geschweißte Bauteile (Übergang Fußflansch / Turmwand, Übergang Stahlrohrurm / Polygon) sind durch spezielle qualitätssichernde Maßnahmen (z.B. durch Wärmebehandlung) zu beseitigen.
- 6.9 Die in [1.1.5] bis [1.1.7] genannten Anforderungen an die Ebenheit der L-Flansche sind einzuhalten. Andernfalls ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass die Vorspannkraft jeder Schraube auch zu einer entsprechenden Kontaktspannung im zugehörigen Flanschsegment führt.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt der hier geprüfte Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

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

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

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

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

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause

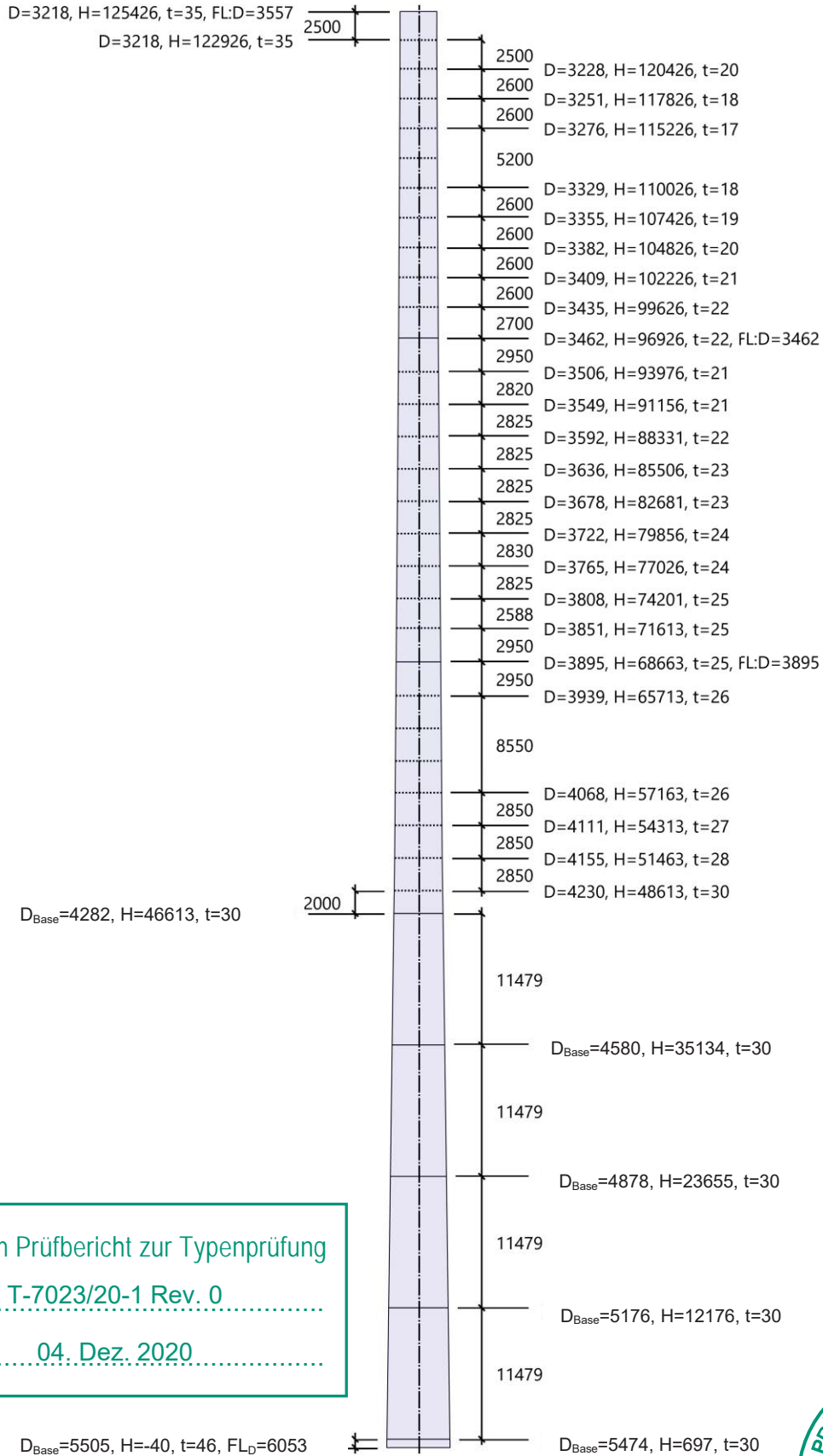


An der Prüfung beteiligt:

Dr.-Ing. C. Fischer

Dr.-Ing. C. Becker

Dr.-Ing. S. Franck



Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung
Nr.: T-7023/20-1 Rev. 0
vom 04. Dez. 2020



Original document details (de)	Translation details (--)
Created/Date: Trame, M. / 2020-09-01	Translated/Date: --
Approved/Date: Fayad, O. / 2020-09-01	Checked/Date: --
Dokument ID: D1000062-0	

© Copyright ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten. / All rights reserved.

Turmhöhe über FOK / Tower Height over TOP Foundation	125.426	m
Nabenhöhe über FOK / Hub Height over TOP Foundation	127.271	m
Nabenhöhe über OK Gelände/ Hub Height over TOP Terrain	130.071	m

Ben. / Not.	Variante / Variation1		Höhe Unten	Höhe Oben.
	D-Nr.	In.		
Stahlsektionen / Steel Sections				
1	D0993191	0	96,926	125,426
2	D0993192	0	68,663	96,926
3	D0993193	0	46,613	68,663
Modulare Stahlsektionen / Modular Steel Sections				
4	D0993194	0	35,134	46,613
5	D0993195	0	23,655	35,134
6	D0993196	0	12,176	23,655
7	D0993197	0	0,697	12,176
8	D0993198	0	-0,040	0,697
Fundamentkorb	D0993199	0	-	-

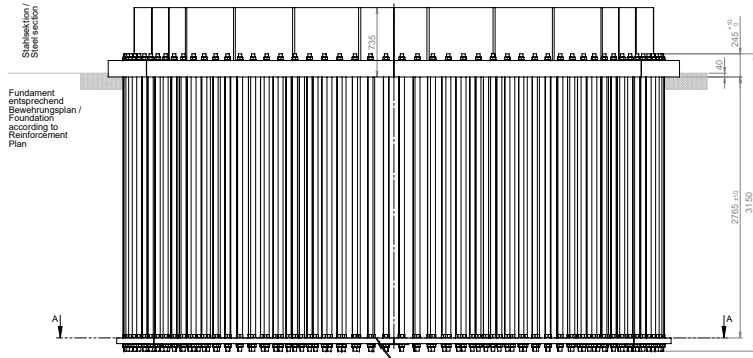


Original document details (de)

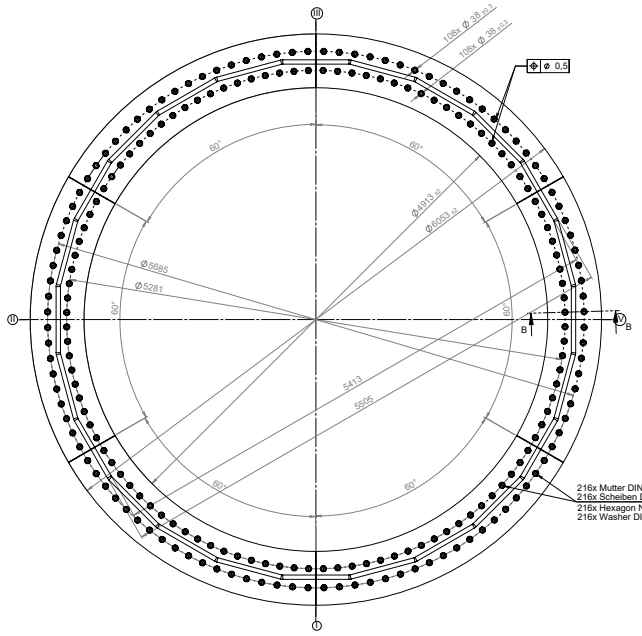
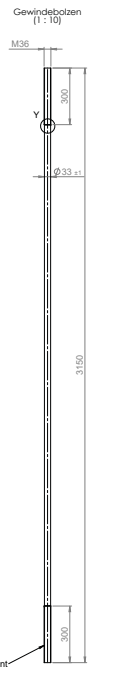
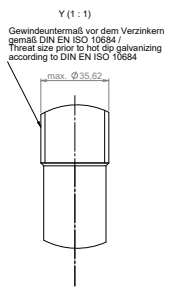
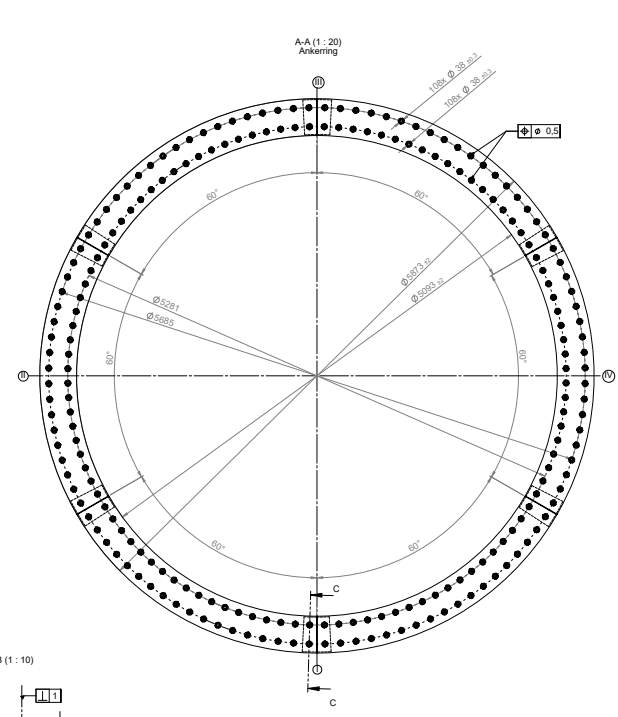
Created/Date: Trame, M. / 2020-09-01
Approved/Date: Fayad, O. / 2020-09-01
Dokument ID: D1000062-0

Translation details (--)

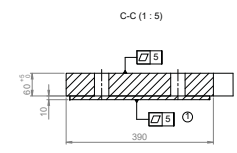
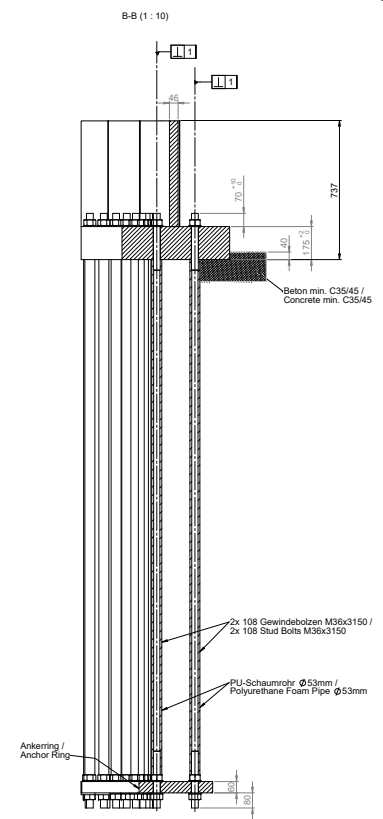
Translated/Date: --
Checked/Date: --



432x Mutter DIN EN ISO 4032-M36-10 IZn
 432x Scheiben DIN EN ISO 7089-36-300 HV IZn
 432x Hexagon Nut DIN EN ISO 4032-M36-10 IZn
 432x Washer DIN EN ISO 7089-36-300 HV IZn



216x Mutter DIN EN ISO 4032-M36-10 IZn
 216x Scheiben DIN EN ISO 7089-36-300 HV IZn
 216x Hexagon Nut DIN EN ISO 4032-M36-10 IZn
 216x Washer DIN EN ISO 7089-36-300 HV IZn

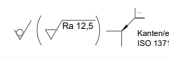


Spezifikationen:
 ENERCON – Spezifikationen sind zu berücksichtigen. Normen sind in ihrer aktuellen Fassung zu verwenden.
Korrosionsschutz:
 Gewindestenden + Schafverzinkung feuerverzinkt gemäß DIN EN ISO 10684
Material:
 Ultraschallprüfung hinsichtlich Dopplungsfreiheit:
 - für Bleche (Zargen, Rahmen, Ankerplatten, Flanges) nach DIN EN 10160, in Klasse S1 / E1
 Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 für Werkstoff:
 - Ankerung: Stahl DIN EN 10025-2-S235 JO
 - Montageplatte: Stahl DIN EN 10025-2-S235 JO
 - Gewindebolzen: Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN EN ISO 898-1
Schraubverbindungen:
 Gewindebolzen: M36-10.9 - Vorspannkraft 470kN

Specifications:
 ENERCON – Specifications are to be adhered to. Standards have to be considered in their current version.
Corrosion protection:
 Threaded ends + shank hot dip galvanized according to DIN EN ISO 10684
Material:
 Ultrasonic material test for internal discontinuities:
 - for steel plates (frames, surrounds, anchor plates, flanges) according to DIN EN 10160, in Class S1 / E1
 Inspection Certificate 3.1 according to DIN EN 10204 for material:
 - Anchor Ring: Steel DIN EN 10025-2-S235 JO
 - Assembly Plate: Steel DIN EN 10025-2-S235 JO
 - Stud Bolts: Tensile Strength Class 10.9 according to DIN EN ISO 898-1
Bolted joints:
 Stud Bolts: M36-10.9 – Pre-tension force 470kN



Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung
 Nr.: T-792920-1 Rev. 0
 vom: 04. Dez. 2020



ENERCON GmbH		Abgabemerkmal DIN EN ISO 2168-1		120		KG	
32/208		WRD-Turm		D0993199		1/1	

0 · c || äæ { K F G E I C G G A X A ! · a } K A A O · c || ä æ A O S O U F I E A F E

Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02,
Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01,
DIBt Windzone S, Geländekategorie II**

- Flachgründung mit Teilauftrieb, D=21,60 m -

Prüfbericht Nr.:	T-7023/20-2 Rev. 0
Gegenstand der Prüfung:	Standsicherheit der Flachgründung mit Teilauftrieb für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Anlagenhersteller:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 9 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	04.12.2020	Erstausgabe

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	Fundament	5
4.2	Lastannahmen	6
4.3	Baustoffe	7
5	Prüfung	7
5.1	Umfang und Methodik	7
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	7
5.3	Ergebnisse	8
5.4	Schnittstellen	8
6	Auflagen.....	8
7	Zusammenfassung	9

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

- [1.1.1] H+P Ingenieure GmbH:
„Statische Berechnung, Flachgründung, E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01,
Projekt: E20-032“, Dokument-Nr.: D0392730-1, Rev. 1, Datum: 11.11.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

- [1.1.2] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Schalplan
Ortbetonfundament, Flachgründung (Fg), Projekt-Nr.: E20-032 Ff“,
Dokument-Nr.: D0984352-1, Rev. 1, Datum: 11.11.2020
- [1.1.3] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Bewehrungsplan 1
Ortbetonfundament, Flachgründung (Fg), Projekt-Nr.: E20-032 Ff“,
Dokument-Nr.: D0984353-0, Rev. 0, Datum: 24.07.2020
- [1.1.4] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Bewehrungsplan 2
Ortbetonfundament, Flachgründung (Fg), Projekt-Nr.: E20-032 Ff“,
Dokument-Nr.: D0984354-0, Rev. 0, Datum: 24.07.2020

Spezifikationen

- [1.1.5] ENERCON GmbH:
„Fundamentdatenblatt, E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Flachgründung, WZ 2
GKII (DIBt, Fassung Oktober 2012)“,
Dokument-Nr.: D0965617-5, Rev. 5, Datum: 05.11.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3 E2,
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, DIBt Windzone S, Geländekategorie II,
- Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 -“,
Prüfbericht Nr.: T-7023/20-1 Rev. 0, Datum: 04.12.2020
- [1.2.2] ENERCON GmbH :
„Bauvorlage E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Fundamentlasten“,
Dokument-Nr.: D0921906-1, Rev. 1, Datum: 18.05.2020

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Statische und dynamische Berechnung E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Bau-
teil: Fundamentkorb“, Dokument-Nr.: D1007572-0, Rev. 0, Datum: 02.10.2020
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Fundamentkorb Statik“,
Dokument-Nr.: D0993199-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.2.5] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage Fundamentkorb E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 & E-115 EP3
E3-HST-122-FB-C-01“, Dokument-Nr.: D0967182-3, Rev. 3, Datum: 01.09.2020

Spezifikationen

- [1.2.6] ENERCON GmbH:
„Anforderungen an das Fundamentdesign Seriengründungen für Stahltürme“,
Dokument-Nr.: D0868458-4a, Rev. 4a, Datum: 26.05.2020
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Hinweise zur Bauausführung Turmtypen E-XX EX/XX/XX/XX/XX &
E-XX EX/XX/XX/XX/XX Für alle Fundamenttypen“,
Dokument-Nr.: D0748193-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
„Materialspezifikation Betonstahl“,
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnach-
weise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 +
A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 +
NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton-
und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Re-
geln für den Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1997-1:2014-03 + DIN EN 1997-1/NA:2010-12:
„Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik –
Teil 1: Allgemeine Regeln“

- [2.5] DIN 1054:2010-12 + A1:2012-08 + A2:2015-11:
„Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Rege-
lungen zu DIN EN 1997-1“
- [2.6] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen,
Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterun-
gen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAFStb Heft 439,
1994
- [2.8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“,
DAFStb Heft 600, 2012
- [2.9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Massige Bauteile aus Beton“, DAFStb-Richtlinie, 2010-04

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung einer Flachgründung mit Teilauftrieb, wel-
che nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
ausgelegt wurde.

4 Beschreibung

4.1 Fundament

Das Fundament dient der Aufnahme des Hybrid-Stahlturms E-138 EP3 E2-HST-131-FB-
C-01, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisfundament weist einen Außendurchmesser von 21,60 m auf.

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

Der Turm ist über einen Ankerkorb mit dem Fundament verbunden.

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

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
1	E-138 EP3 E2	131,0 m	4200 kW	E-138 EP3-RB-02	WZ S	GK II	[1.1.1]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Fundamentnachweise

4.2 Lastannahmen

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

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3 E2	131,0 m	4200 kW	E-138 EP3-RB-02	WZ S	GK II	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

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

Es wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

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

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

Im Bereich der Erdaufschüttung auf der Fundamentplatte wurden keine Verkehrslasten berücksichtigt. Im Turminnenraum wurden Lasten eines Transformators bzw. eines E-Moduls angesetzt.

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

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. der Spezifikation [1.2.8] entnommen werden.

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

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

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

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

Der Turm, der Ankerkorb, die Betonnachweise im Lasteinleitungsbereich sowie die geotechnischen Nachweise sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Der Hybrid-Stahlurm, der Ankerkorb und die Betonnachweise im Lasteinleitungsbereich wurden in [1.2.1] geprüft.

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Allgemeines

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

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

Fundament

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

In der statischen Berechnung [1.1.1] wurde eine Betonierfuge bis zu einer Höhe von 0,50 m über der Fundamentsohle nachgewiesen, gemäß den Zeichnungen [1.1.2] bis [1.1.4] sind jedoch keine Betonierfugen im Fundament vorgesehen (s. Auflage 6.4).

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Turm

- 5.4.1 Es wurde überprüft, ob das Fundament die im Turmbericht [1.2.1] spezifizierten Anforderungen erfüllt.
- 5.4.2 Es wurde geprüft, ob die für die Bewehrungsnachweise im Lasteinleitungsbe-
reich angesetzten Geometrien mit den in [1.2.3] bis [1.2.5] zusammengestellten
Geometrien des Ankerkorbs übereinstimmen.

Geotechnische Nachweise

- 5.4.3 Alle geotechnischen Nachweise inklusive der nachfolgend aufgeführten Anfor-
derungen an den Baugrund sind durch einen Gutachter für Geotechnik für den
jeweiligen Gründungsbereich nachzuweisen.
- 5.4.4 Der Baugrund muss die in [1.1.5] spezifizierten Anforderungen erfüllen.
- 5.4.5 Die in [1.1.5] angegebene, maximale Bodenpressung wurde mit charakteristi-
schen Lasten ($\gamma_f = 1,0$) ermittelt.

Montage & Inbetriebnahme

- 5.4.6 Hinsichtlich der Vorspannung der Ankerstangen gelten die Anforderungen des
Turmberichts [1.2.1].

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.7 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windener-
gieanlagen zu beachten.

6 Auflagen

Fundament

- 6.1 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen
der DIN EN 13670, DIN 1045-3 und der Spezifikation [1.2.7] zu beachten. Für
den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbin-
dung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.
- 6.2 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schäd-
licher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Beton-

technologie hinzuzuziehen. Die Betongüten sind durch Betonprüfzeugnisse der Lieferfirmen nachzuweisen. Auf die Einhaltung der geforderten Betondeckung sowie auf die fachgerechte Verlegung der Bewehrung ist zu achten. Bei Bauteilen des Gründungskörpers, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen, wurde die rechnerische Rissbreite auf 0,2 mm begrenzt, bei allen übrigen Bauteilen des Gründungskörpers auf 0,3 mm. Sollten nach dem Aushärten des Betons unzulässig breite Risse festgestellt werden, sind diese fachgerecht zu sanieren.

- 6.3 Schweißungen an der Bewehrung sind ohne weitere Nachweise nicht erlaubt.
- 6.4 Bei der Ausführung einer Betonierfuge ist die vorhandene Querkraftbewehrung entsprechend der statischen Berechnung [1.1.1] (Abschnitt 5.8) zu erhöhen. Die entsprechenden Bewehrungspläne wären in diesem Falle zur Prüfung einzureichen.

7 Zusammenfassung

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

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

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

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

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

Der Leiter



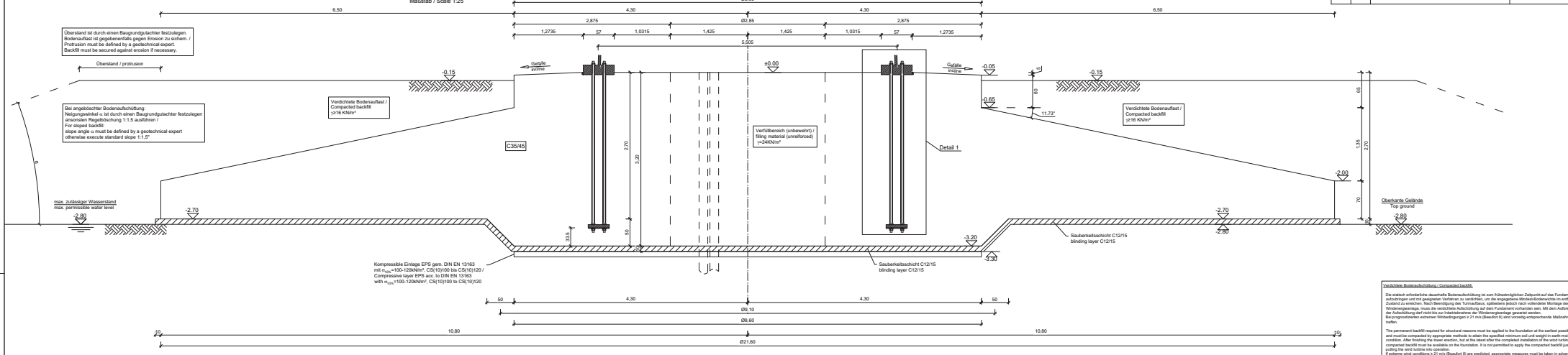
Dipl.-Ing. T. Krause



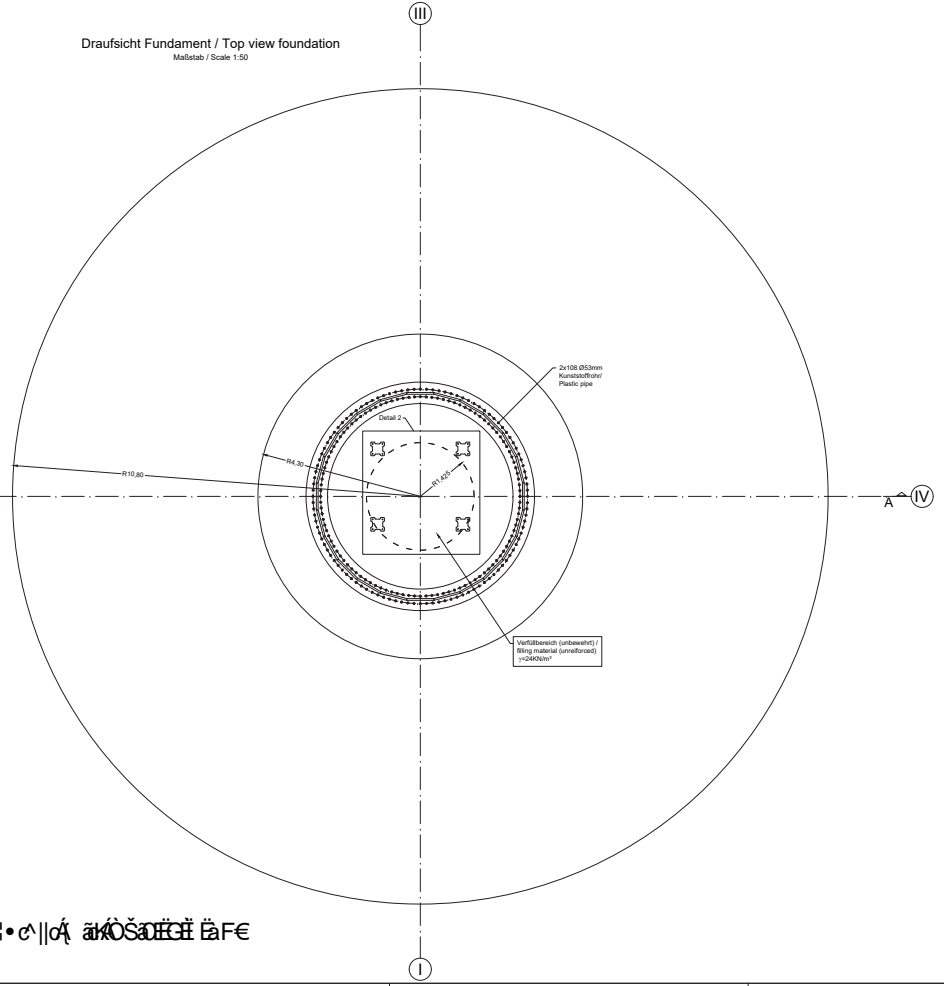
An der Prüfung beteiligt:
Dr.-Ing. S. Franck

Pos.	Stütz./Querschnitt	Bezeichnung / Description	Hersteller / Manufacturer
E1	1	Fundament / Foundation base	von ANKER ENERCON oder E-ENERCON (2008) (2)

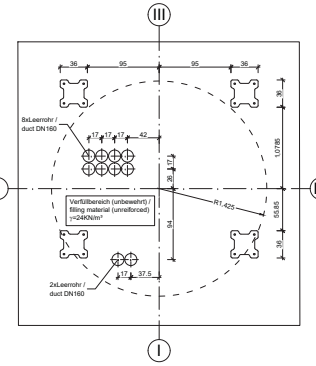
Schnitt / Cross section A-A
Maßstab / Scale 1:25



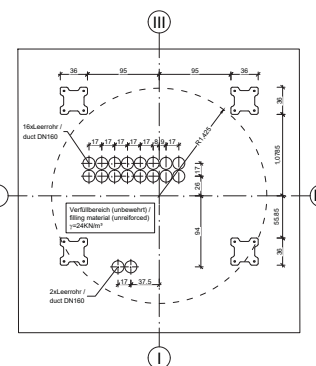
Draufsicht Fundament / Top view foundation
Maßstab / Scale 1:50



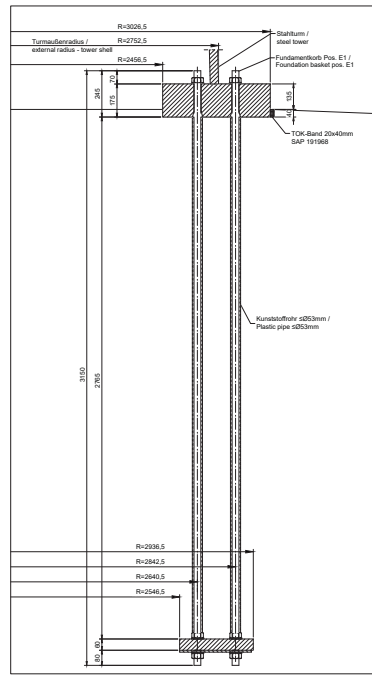
Detail 2
Variante / Option 1
Maßstab / Scale 1:25
Angaben in [cm/mm]



Detail 2
Variante / Option 2
Maßstab / Scale 1:25
Angaben in [cm/mm]



Detail 1
Maßstab / scale 1:10
Angaben in [mm]



Verfüllbereich (unbewehrt) / Filling material (unreinforced)
Die verbleibende verfüllte Bauteiloberfläche ist ein unverfüllter Zeitpunkt auf dem Fundament unterliegt und ist entsprechend zu behandeln. Die verbleibende verfüllte Bauteiloberfläche ist entsprechend zu behandeln. Die verbleibende verfüllte Bauteiloberfläche ist entsprechend zu behandeln. Die verbleibende verfüllte Bauteiloberfläche ist entsprechend zu behandeln.

Reinigungsanforderungen
Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen. Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen. Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen. Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen.

Druckbelastung
Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen. Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen. Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen. Die Bauteile sind vor dem Einbau zu reinigen.

Zugehörige Zeichnungen / respective drawings

Technische Zeichnung	0208-01	0208-01
Druckbelastung	0208-02	0208-02
Reinigungsanforderungen	0208-03	0208-03
Druckbelastung	0208-04	0208-04

ENERCON **HP**

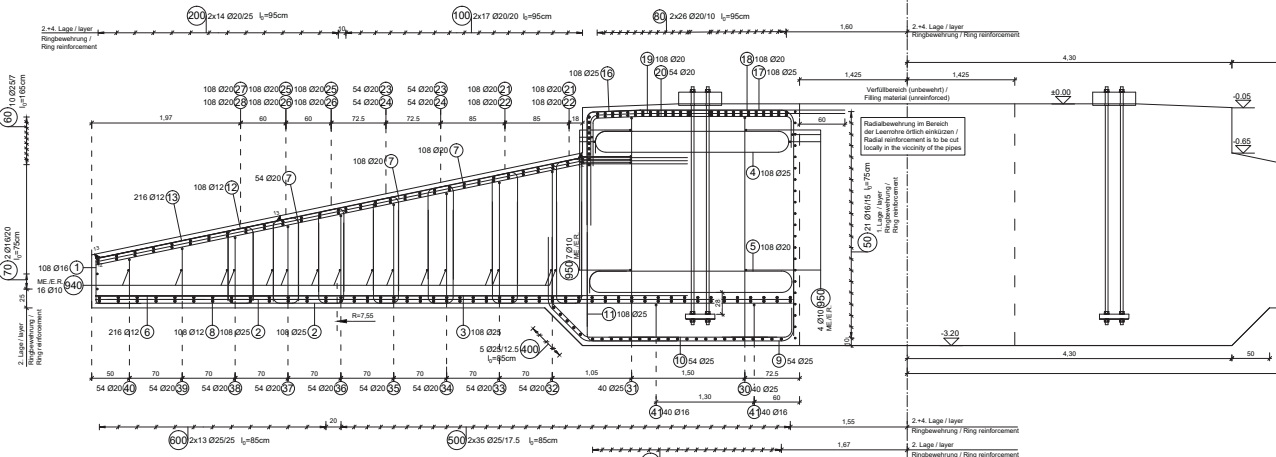
1-1 Anmerkungen ENERCON vom 06.11.2020 übernommen 11.11.2020 AS, PB

42/208

24.07.2020 PV 24.07.2020 AS 24.07.2020 CG

42/208

© 2020 ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten. Die Reproduktion ist ohne schriftliche Genehmigung von ENERCON GmbH. Die Reproduktion ist ohne schriftliche Genehmigung von ENERCON GmbH.



Die Verfüßfläche ist monolithisch mit dem Fundament zu betonen. Abänderung ist ohne anwendbare Bewehrung zwischen beiden Bereichen verboten. The filling area has to be casted monolithically with the foundation. Any change is forbidden without reinforcement in both areas adjacent.

Detail Schutzkappe / safety cap

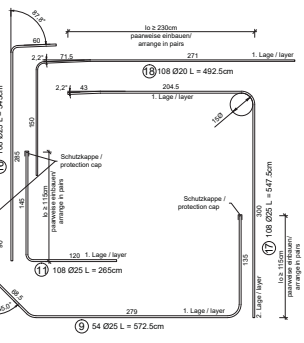
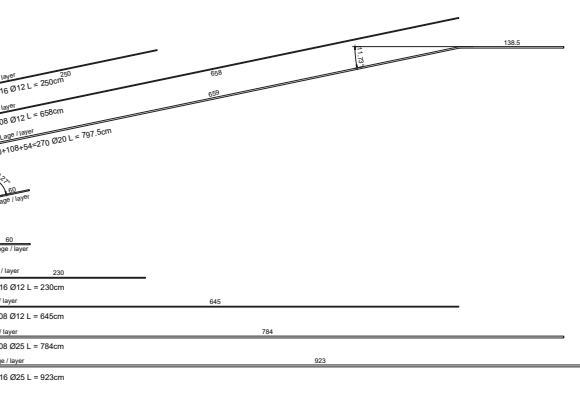
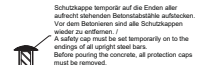
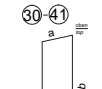
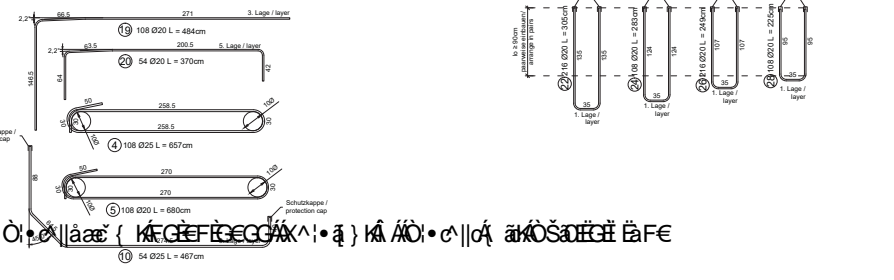
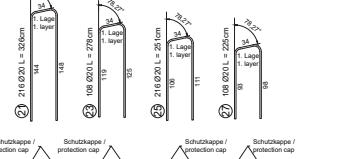


Table with columns: Pos, Anzahl, Ø, a, b, c, Einzahlgröße, Gesamtlänge. Lists reinforcement specifications for various positions.



umschließt äußere Ringbewehrung / enclose outer ring reinforcement



Main material list table with columns: Pos, Anzahl, Ø, Längel, Gesamtlänge. Lists quantities and dimensions for various reinforcement items.

Bitte sind unlaufend örtlich zu ersetzen $\geq 1.3 \cdot l$, nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 9.2E. Anteil der verapletteten Stöße 53% (Percentage of lapped arrangement 53% acc. to DIN EN 1992-1-1, Tab. 9.2E)

Table for Pos. 50 Ø16, showing reinforcement details and dimensions for a 1.5m diameter.

Table for Pos. 50 Ø20, showing reinforcement details and dimensions for a 1.5m diameter.

Table for Pos. 50 Ø25, showing reinforcement details and dimensions for a 1.5m diameter.

Table for Pos. 50 Ø18, showing reinforcement details and dimensions for a 1.5m diameter.

Table for Pos. 50 Ø10, showing reinforcement details and dimensions for a 1.5m diameter.

Table for Pos. 50 Ø10, showing reinforcement details and dimensions for a 1.5m diameter.

Table for Pos. 400 Ø25, showing reinforcement details and dimensions for a 400mm diameter.

Table for Pos. 100 Ø20, showing reinforcement details and dimensions for a 100mm diameter.

Table for Pos. 500 Ø25, showing reinforcement details and dimensions for a 500mm diameter.

Table for Pos. 500 Ø20, showing reinforcement details and dimensions for a 500mm diameter.

Table for Pos. 500 Ø10, showing reinforcement details and dimensions for a 500mm diameter.

Table for Pos. 500 Ø25, showing reinforcement details and dimensions for a 500mm diameter.

Technische Beschreibung... Zentrale Baugruppe und Fundament etc. Eine vollständige Einzelbeschreibung der Bauteile befindet sich in der Anlage...

Genau: Design nach EN 1992-1-1... Bemesslung nach EN 1992-1-1... Berechnung der Bewehrung...

Material: Beton C35/45... Bewehrungsstähle B500B...

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

Table with columns: Bauart, Beton, Bewehrungsstähle, Bewehrungsdichte, Fußpunktverschiebung, Bemesslungswert, Bemesslungswert (kN/m²).

Table with columns: Beton, Bewehrungsstähle, Bewehrungsdichte, Fußpunktverschiebung, Bemesslungswert, Bemesslungswert (kN/m²).

Table with columns: Pos, Länge A, Radius, Stückergebnis, Gesamtmenge. Lists material quantities for various positions.

Table with columns: Pos, Länge A, Radius, Stückergebnis, Gesamtmenge. Lists material quantities for various positions.

ANLEGE ZUM PUBLIZIEREN ZU TÜPSPANNUNG Nr.: T.072020-2 Rev. 0 vom 04. Dez. 2020



Fundamentdatenblatt

Foundation Data Sheet

E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01

Flachgründung
Flat Foundation

WZ 2 GKII (DIBt, Fassung Oktober 2012) WTC

WTC WK IIIA (IEC 61400-1, 3rd edition, 2005-08)

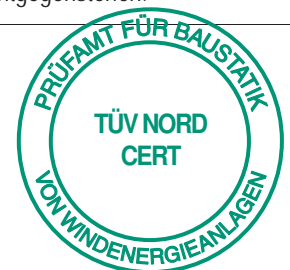
Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung

Nr.: T-7023/20-2 Rev. 0

vom 04. Dez. 2020



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, Jörg Scholle 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, Jörg Scholle 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	D0965617-5 / DA
Vermerk Note	Originaldokument Original document

Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2020-05-20	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:	Papagiannis, M./ 2020-05-20	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Villada Gonzalez, J./ 2020-05-20	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

Revisionen / Revisions

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2020-05-20	Dokument erstellt (Entwurf) Document created (Preliminary)	MIP
1	29-05-29	in der Kopfzeile ohne Auftrieb entfernt in the header removed without buoyancy	JAV
2	2020-07-27	Dokument aktualisiert gem Statische Berechnung und Zeichnung / Document updated acc. to Structural calculation and Plans	SMS
3	2020-08-04	Stahl (B 400) und Beton mengen aktualisiert / Steel and concrete quantity updated	SMS
4	2020-08-10	D-Nr ab seite 3 in der Fußzeile angepasst / D-Nr from page 3 has been corrected	SMS
5	2020-11-05	Stahl menge B 400 aktualisiert gem TÜV anmerkungen / Steel quantity B 400 updated according to TÜV remarks	SMS



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

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

1 Allgemeine Angaben / General information

Typenstatik

H+P Ingenieure

Design-specific structural analysis

Flachgründung ohne Teilauftrieb

Ø 21,90 m

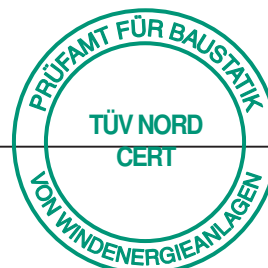
Flat Foundation without Partial Buoyancy

Auftrag / Datum

 E20-032 /
24.07.2020

Order no./ date

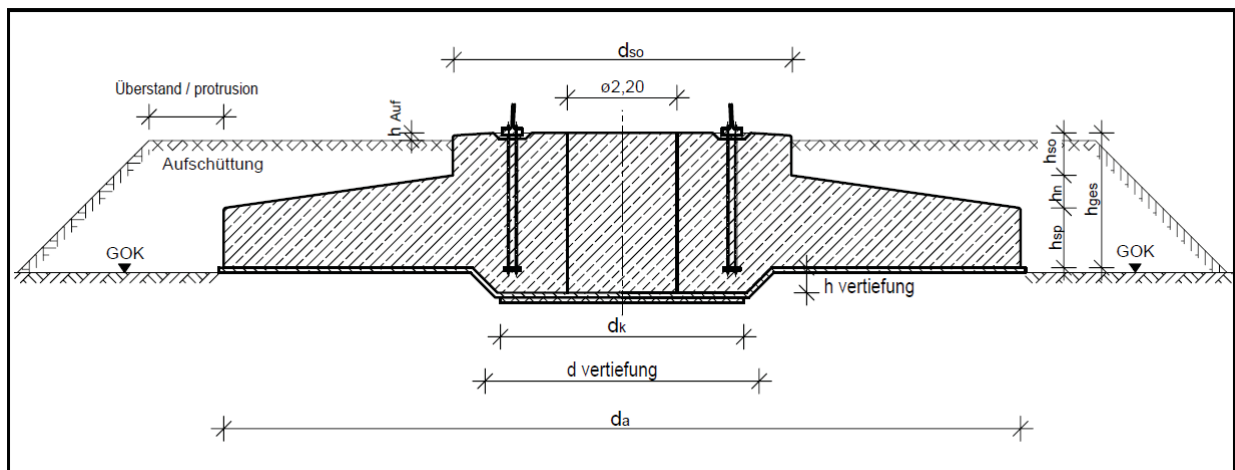
D0965617-4



3 von / of

2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

Außendurchmesser	d_a	21,60	m	<i>Outer diameter</i>
Sockeldurchmesser	d_{so}	8,60	m	<i>Base diameter</i>
Durchmesser Fundamentkern	d_i	2,85	m	<i>Diameter of foundation core</i>
Durchmesser kompressible Einlage	d_k	8,60	m	<i>Compressible layer diameter</i>
Fundamenthöhe	h_{ges}	2,70	m	<i>Foundation height</i>
Sockelhöhe	h_{so}	0,65	m	<i>Base height</i>
Höhe Spornneigung	h_n	1,35	m	<i>Spur incline height</i>
Spornhöhe	h_{sp}	0,70	m	<i>Spur height</i>
Differenz Fundamentoberkante - GOK	h_{GOK}	2,80	m	<i>Difference between foundation top edge and ground level</i>
Differenz Fundamentoberkante - Oberkante Aufschüttung	h_{Auf}	0,15	m	<i>Difference between foundation top edge and backfill</i>
Durchmesser Fundamentvertiefung (gemittelt)	$d_{Vertiefung}$	9,10	m	<i>Diameter of foundation recess (averaged)</i>
Vertiefungshöhe	$h_{Vertiefung}$	0,50	m	<i>Recess height</i>
Betongüte und Volumen	C 35/45	582,4	m ³	<i>Concrete quality and volume</i>
Betonstahl und Gewicht	B 500B	78,4	t	<i>Reinforcement steel and weight</i>
	B 400B	83,0	t	



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaßenkanten ist durch ein Baugrundgutachter festzulegen. Maximal zulässiger Grundwasserstand (GWS) bis zur Geländeoberkante (GOK).

The required protrusion of the backfill beyond the outer edges of the foundation must be defined by a geotechnical expert. Maximum permissible groundwater level (GWS) is up to ground level (GOK)



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} 12500 MNm/rad
	k_{φ,dyn} 100000 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.

Für Kreisfundamente gilt:

The following applies to circular foundations:

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

daraus folgt:

This means that:

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

G = Schubmodul / Shear modulus in MN/m²
r = Radius / Radius in m
ν = Querdehnzahl / Poisson's ratio

4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

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

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

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

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.

$$\sigma_{k,vorh} = 235 \text{ kN/m}^2$$



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 $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ 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 $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ when dry.

6.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	($\gamma_{aero}/\gamma_{masse}$) ($\gamma_{aero}/\gamma_{mass}$)	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
DLC D.3	(1.00/1.00)	690	-27361	-26581	82613	3050
N/T/DLC8.2	(1.00/1.00)	920	-27361	-26581	115584	-9250
N/A/T	(1.00/1.00)	990	-27361	-26581	130423	-11450

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

Loads do not include partial safety factors ($\gamma_F = 1,0$)

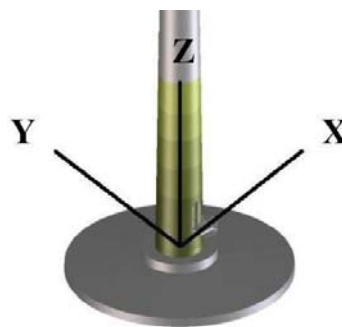
6.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

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)	1290	-35306	-23569	157383	-12600

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

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

7 Koordinatensystem / Coordinate system



Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02,
Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01,
DIBt Windzone S, Geländekategorie II**

- Tiefgründung mit Teilauftrieb, D=18,20 m -

Prüfbericht Nr.:	T-7023/20-3 Rev. 0
Gegenstand der Prüfung:	Standsicherheit der Tiefgründung mit Teilauftrieb für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Anlagenhersteller:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	04.12.2020	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

- [1.1.1] H+P Ingenieure GmbH:
„Statische Berechnung, Tiefgründung, E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01,
Projekt: E20-033“, Dokument-Nr.: D0392734-1, Rev. 1, Datum: 20.11.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

- [1.1.2] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Schalplan Übersicht
Variante A: 30x Ortbetonrammpfähle mit $\varnothing=51\text{cm}$ (alternativ: 30x Fertigteil-
rammpfähle 45x45cm), Tiefgründung (Tg), Projekt-Nr.: E20-033 Df“,
Dokument-Nr.: D0988601-1, Rev. 1, Datum: 20.11.2020
- [1.1.3] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Schalplan Übersicht
Variante B: 24x Ortbetonrammpfähle mit $\varnothing=56\text{cm}$, Tiefgründung (Tg), Projekt-
Nr.: E20-033 Df“,
Dokument-Nr.: D0988602-1, Rev. 1, Datum: 19.11.2020
- [1.1.4] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Schalplan Übersicht
Variante C: 20x Bohrpfähle mit $\varnothing=100\text{cm}$, Tiefgründung (Tg), Projekt-Nr.: E20-
033 Df“,
Dokument-Nr.: D0988603-1, Rev. 1, Datum: 19.11.2020
- [1.1.5] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Bewehrungsplan 1
Ortbetonfundament, Tiefgründung (Tg), Projekt-Nr.: E20-033 Df“,
Dokument-Nr.: D0988607-1, Rev. 1, Datum: 19.11.2020
- [1.1.6] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Planinhalt: Bewehrungsplan 2
Ortbetonfundament, Tiefgründung (Tg), Projekt-Nr.: E20-033 Df“,
Dokument-Nr.: D0988608-0, Rev. 0, Datum: 12.08.2020

Spezifikationen

- [1.1.7] ENERCON GmbH:
„Fundamentdatenblatt, E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Tiefgründung, WZ 2
GK II (DIBt- Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“,
Dokument-Nr.: D0965749-2, Rev. 2, Datum: 23.11.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-138 EP3 E2,
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, DIBt Windzone S, Geländekategorie II,
- Hybrid-Stahlurm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 -“,
Prüfbericht Nr.: T-7023/20-1 Rev. 0, Datum: 04.12.2020
- [1.2.2] ENERCON GmbH :
„Bauvorlage E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Fundamentlasten“,
Dokument-Nr.: D0921906-1, Rev. 1, Datum: 18.05.2020
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Statische und dynamische Berechnung E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Bau-
teil: Fundamentkorb“, Dokument-Nr.: D1007572-0, Rev. 0, Datum: 02.10.2020
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Fundamentkorb Statik“,
Dokument-Nr.: D0993199-1, Rev. 1, Datum: 16.09.2020
- [1.2.5] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage Fundamentkorb E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 & E-115 EP3
E3-HST-122-FB-C-01“, Dokument-Nr.: D0967182-3, Rev. 3, Datum: 01.09.2020

Spezifikationen

- [1.2.6] ENERCON GmbH:
„Anforderungen an das Fundamentdesign Seriengründungen für Stahltürme“,
Dokument-Nr.: D0868458-4a, Rev. 4a, Datum: 26.05.2020
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Hinweise zur Bauausführung Turmtypen E-XX EX/XX/XX/XX/XX &
E-XX EX/XX/XX/XX/XX Für alle Fundamenttypen“,
Dokument-Nr.: D0748193-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
„Materialspezifikation Betonstahl“,
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

2 Prüfgrundlagen

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

- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1997-1:2014-03 + DIN EN 1997-1/NA:2010-12:
„Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“
- [2.5] DIN 1054:2010-12 + A1:2012-08 + A2:2015-11:
„Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“
- [2.6] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAfStb Heft 439, 1994
- [2.8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, DAfStb Heft 600, 2012
- [2.9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Massige Bauteile aus Beton“, DAfStb-Richtlinie, 2010-04

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung einer Tiefgründung mit Teilauftrieb, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

4 Beschreibung

4.1 Fundament

Das Fundament dient der Aufnahme des Hybrid-Stahlturms E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisfundament weist einen Außendurchmesser von 18,20 m auf und ist für die folgenden Pfahlvarianten ausgelegt:

- Variante A: 30 Ortbetonrammpfähle mit Ø 51 cm oder alternativ:
30 Fertigteiltrammpfähle mit 45/45 cm
- Variante B: 24 Ortbetonrammpfähle mit Ø 56 cm
- Variante C: 20 Bohrpfähle mit Ø 100 cm

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

Der Turm ist über einen Ankerkorb mit dem Fundament verbunden.

Weitere Details können den Schalplänen [1.1.2] bis [1.1.4] und dem Fundamentdatenblatt [1.1.7] (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
1	E-138 EP3 E2	131,0 m	4200 kW	E-138 EP3-RB-02	WZ S	GK II	[1.1.1]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Fundamentnachweise

4.2 Lastannahmen

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

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-138 EP3 E2	131,0 m	4200 kW	E-138 EP3-RB-02	WZ S	GK II	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

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

Es wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder $k_{\varphi,stat} = 16\,250\text{ MNm/rad}$ wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die dynamische Bodendrehfeder wurde mit $k_{\varphi,dyn} = 130\,000\text{ MNm/rad}$ angesetzt.

Im Bereich der Erdaufschüttung auf der Fundamentplatte wurden keine Verkehrslasten berücksichtigt. Im Turminnenraum wurden Lasten eines Transformators bzw. eines E-Moduls angesetzt.

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

Zusätzlich zum Endzustand wurde ein Bauzustand mit Belastung aus Frischbetoneigen-
gewicht nachgewiesen (s. [1.1.1]).

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. der Spezifikation [1.2.8] entnommen werden.

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

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

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

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

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

Der Hybrid-Stahlurm, der Ankerkorb und die Betonnachweise im Lasteinleitungsbereich wurden in [1.2.1] geprüft.

Bei der Prüfung wurde ein Bauzustand berücksichtigt (s. [1.1.2] - [1.1.4]).

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Allgemeines

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

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

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Turm

- 5.4.1 Es wurde überprüft, ob das Fundament die im Turmbericht [1.2.1] spezifizierten Anforderungen erfüllt.
- 5.4.2 Es wurde geprüft, ob die für die Bewehrungsnachweise im Lasteinleitungsbe-
reich angesetzten Geometrien mit den in [1.2.3] bis [1.2.5] zusammengestellten
Geometrien des Ankerkorbs übereinstimmen.

Geotechnische Nachweise und Pfähle

- 5.4.3 Alle geotechnischen Nachweise inklusive der nachfolgend aufgeführten Anfor-
derungen an den Baugrund sind durch einen Gutachter für Geotechnik für den
jeweiligen Gründungsbereich nachzuweisen.
- 5.4.4 Der Baugrund und das Pfahlssystem müssen die in [1.1.7] spezifizierten Anfor-
derungen erfüllen.
- 5.4.5 Das Pfahlssystem wurde für eine Absetztiefe von 20 m berechnet, bezogen auf
die Unterkante der Fundamentplatte. Die Pfahllänge kann je nach Baugrund-
beurteilung und nach den örtlichen Bohr- bzw. Rammbedingungen variieren.
- 5.4.6 Für den Nachweis der äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind die in [1.1.7] ange-
gebenen Bemessungslasten zu verwenden.

Montage & Inbetriebnahme

- 5.4.7 Hinsichtlich der Vorspannung der Ankerstangen gelten die Anforderungen des
Turmberichts [1.2.1].

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

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

6 Auflagen

Fundamentplatte

- 6.1 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, DIN 1045-3 und der Spezifikation [1.2.7] zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.
- 6.2 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Betontechnologe hinzuzuziehen. Die Betongüten sind durch Betonprüfzeugnisse der Lieferfirmen nachzuweisen. Auf die Einhaltung der geforderten Betondeckung sowie auf die fachgerechte Verlegung der Bewehrung ist zu achten. Bei Bauteilen des Gründungskörpers, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen, wurde die rechnerische Rissbreite auf 0,2 mm begrenzt, bei allen übrigen Bauteilen des Gründungskörpers auf 0,3 mm. Sollten nach dem Aushärten des Betons unzulässig breite Risse festgestellt werden, sind diese fachgerecht zu sanieren.
- 6.3 Wegen der erforderlichen Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist ein langsam erhärtender Beton mit $r \leq 0,30$ zu verwenden.
- 6.4 Schweißungen an der Bewehrung sind ohne weitere Nachweise nicht erlaubt.

Anforderungen an den Baugrund und die Pfähle

- 6.5 Die innere Tragfähigkeit der Pfähle muss für jeden Standort nachgewiesen werden. Die in [1.1.1] ermittelten und in [1.1.7] aufgeführten Pfahlbiegemomente und -querkräfte dienen lediglich der Vorbemessung und dürfen nicht für die Auslegung von Pfahlgründungen verwendet werden.
- 6.6 Die Drehfedersteifigkeit des Fundaments hängt von den Bodenkennwerten und dem Pfahlssystem ab und ist für jeden Standort zu bestätigen.

7 Zusammenfassung

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

Der Prüfbericht zur Typenprüfung gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführte Windenergiean-
lagenkonfiguration.

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

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

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

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause

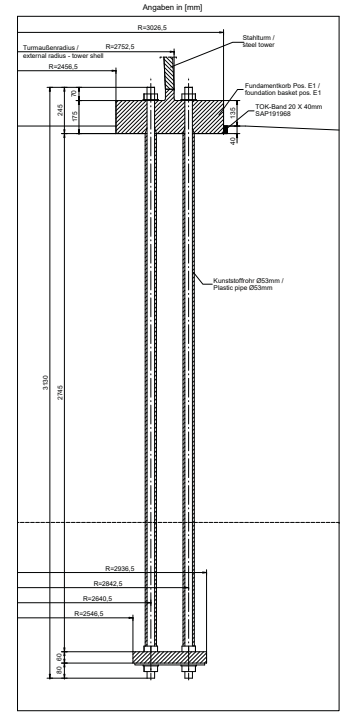
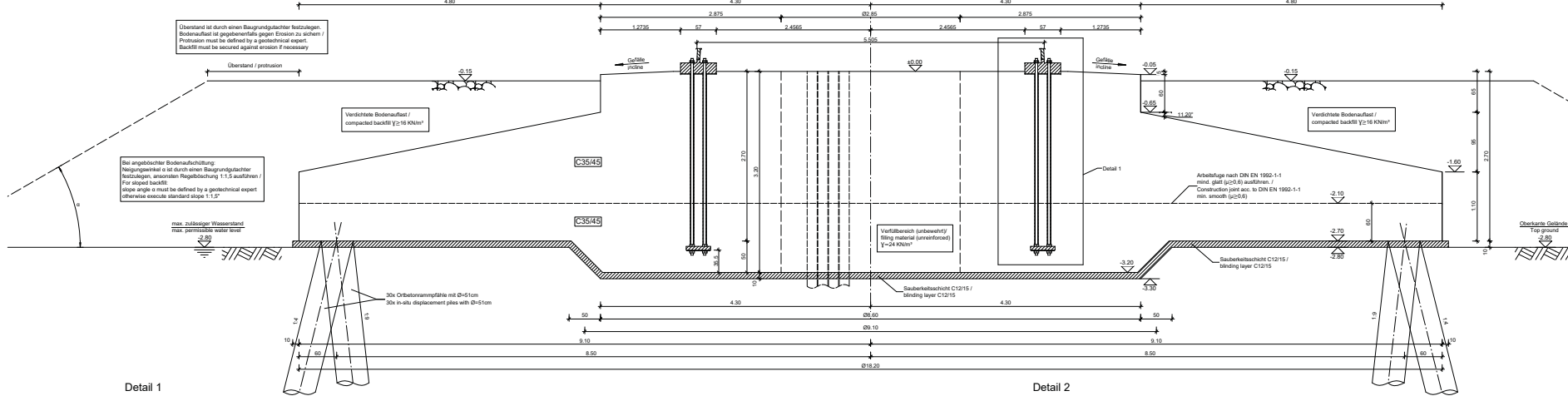


An der Prüfung beteiligt:

Dipl.-Ing. S. Hellwig

Schnitt / Cross section A-A

Maßstab / Scale 1:25

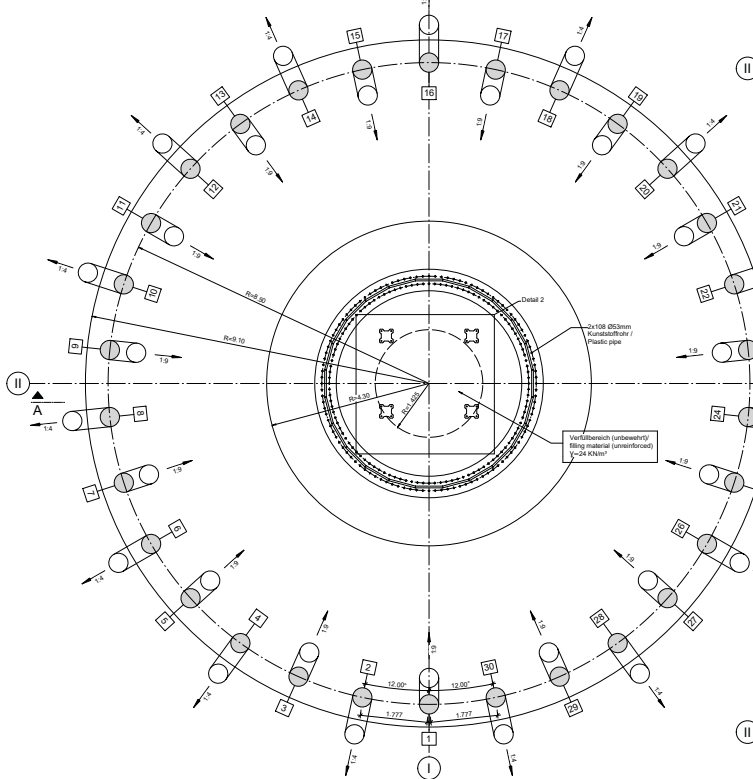


Der Beton unterhalb des TF-Flansches ist nur von einer Seite einzufüllen und zu verdichten, um Fehlleistungen und Luftblasen unterhalb des TF-Flansches zu verhindern. / The concrete underneath the TF-flange must be filled and compacted from one side only to prevent defects and air pockets underneath the TF-flange.

Draufsicht Fundament Variante / option A

30x Ortbetonrammpfähle mit Ø=51cm / 30x in-situ displacement piles with Ø=51cm

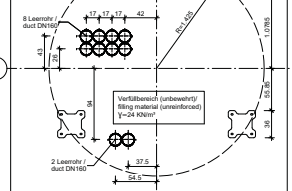
Maßstab / Scale 1:50



Detail 2 Variante / Option 1

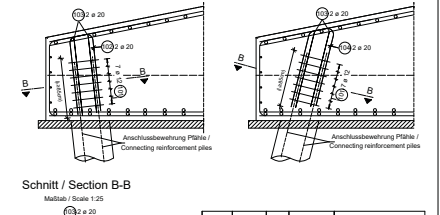
Maßstab / Scale 1:25

Angaben in [mm]

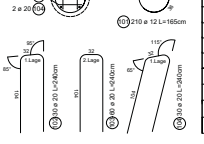


Exemplarische Anschlussbewehrung Pfähle Ø51cm / Exemplary connecting reinforcement piles Ø51cm

Maßstab / Scale 1:25



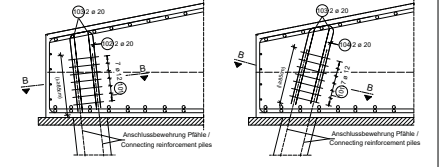
Schnitt / Section B-B



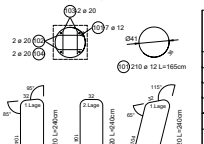
Pos.	Anzahl / Number	Ø	Länge / Length (m)	Gewicht / Weight (kg)
	gesamt / total			8000
101	210	12	1,65	346,50
102	30	20	2,40	72,00
103	60	20	2,40	144,00
104	30	20	2,40	72,00
Anschlussbewehrung Pfähle / Connecting reinforcement piles				
	Länge / Length acc. to diameters (m)			346,50
	Mass (kg)			0,888
Anschlussbewehrung Pfähle / Connecting reinforcement piles				
	Länge / Length acc. to diameters (m)			307,69
	Mass (kg)			711,36
Total (kg)				1019,05

Exemplarische Anschlussbewehrung für alternative Ausführung Pfähle 45/45cm / Exemplary connecting reinforcement for alternative piles 45/45cm

Maßstab / Scale 1:25



Schnitt / Section B-B



Pos.	Anzahl / Number	Ø	Länge / Length (m)	Gewicht / Weight (kg)
	gesamt / total			8000
101	210	12	1,65	346,50
102	30	20	2,40	72,00
103	60	20	2,40	144,00
104	30	20	2,40	72,00
Anschlussbewehrung Pfähle / Connecting reinforcement piles				
	Länge / Length acc. to diameters (m)			346,50
	Mass (kg)			0,888
Anschlussbewehrung Pfähle / Connecting reinforcement piles				
	Länge / Length acc. to diameters (m)			307,69
	Mass (kg)			711,36
Total (kg)				1019,05

Pos.	Menge / Quantity	Bezeichnung / Description	Hersteller / Manufacturer
E1	1	Fundament / foundation basket	EMERCON (ZPN: D0987182)

VARIANTE A 30 Pfähle / Alternative A (30 piles)	
Plattbeanspruchungen in LLS (eingespannte Pfahlköpfe) / overview pile heads in LLS (clamped pile heads)	
min N =	-2563 kN
max N =	610 kN
Plattbeanspruchungen Gruppe N47, 1-1:0,1 overview pile heads group N47, 1-1:0	
min N =	-3510 kN
max N =	315 kN

Die Pfähle alternative A (30) im Durchmesserbereich basieren auf der Möglichkeit, die maximale Tragkapazität der Pfähle zu erhöhen (D0987182). Die Pfähle alternative A (30) im Durchmesserbereich basieren auf der Möglichkeit, die maximale Tragkapazität der Pfähle zu erhöhen (D0987182). Die Pfähle alternative A (30) im Durchmesserbereich basieren auf der Möglichkeit, die maximale Tragkapazität der Pfähle zu erhöhen (D0987182).

Die Pfähle alternative A (30) im Durchmesserbereich basieren auf der Möglichkeit, die maximale Tragkapazität der Pfähle zu erhöhen (D0987182). Die Pfähle alternative A (30) im Durchmesserbereich basieren auf der Möglichkeit, die maximale Tragkapazität der Pfähle zu erhöhen (D0987182). Die Pfähle alternative A (30) im Durchmesserbereich basieren auf der Möglichkeit, die maximale Tragkapazität der Pfähle zu erhöhen (D0987182).

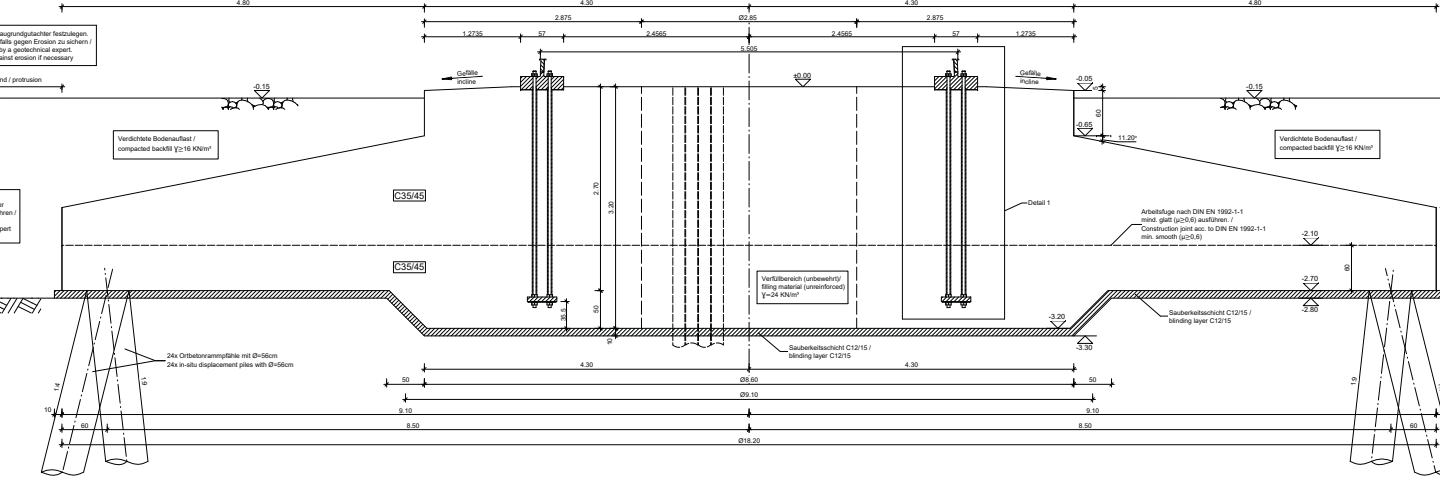
Die Ausführung der Fundamente gemäß den vorliegenden Zeichnungen ist davon abhängig, dass die entsprechenden Anordnungen für die Ausführung der Fundamente eingehalten werden. Die Ausführung der Fundamente ist davon abhängig, dass die entsprechenden Anordnungen für die Ausführung der Fundamente eingehalten werden.

Die Ausführung der Fundamente gemäß den vorliegenden Zeichnungen ist davon abhängig, dass die entsprechenden Anordnungen für die Ausführung der Fundamente eingehalten werden. Die Ausführung der Fundamente ist davon abhängig, dass die entsprechenden Anordnungen für die Ausführung der Fundamente eingehalten werden.

ENERCON GmbH
 HP
 61/208
 10.08.2020
 10.08.2020
 10.08.2020

Schnitt / Cross section A-A

Maßstab / Scale 1:25



Detail Schutzkappe / protection cap



Verschüttete Bodenauflage / compacted backfill $\gamma \ge 16 \text{ kNm}^3$

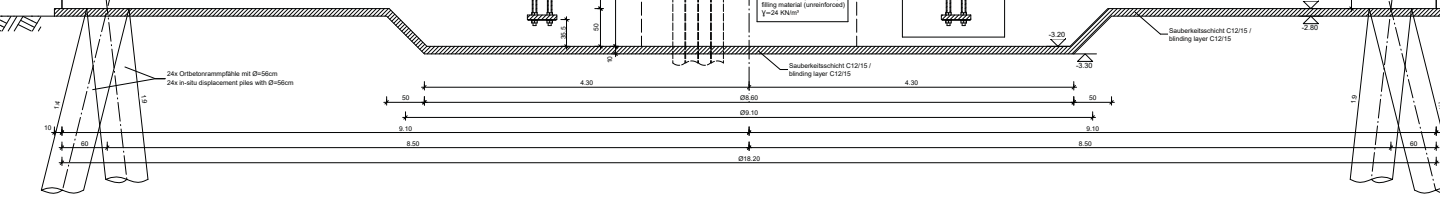
Verschüttete Bodenauflage / compacted backfill $\gamma \ge 16 \text{ kNm}^3$

Bei angebotener Bodenauflage: Neigungswinkel ist ab durch einen Baugrunderkundliche Festlegen. Bodenauflage ist gegebenenfalls gegen Erosion zu sichern. /
For spaced backfill: slope angle is to be defined by a geotechnical expert otherwise excuse standard slope 1:1.5

Arbeitsnaht nach DIN EN 1992-1-1 mind. glatt $\ge 20 \text{ cm}$ ausführen. /
Construction joint acc. to DIN EN 1992-1-1 min. smooth $\ge 20 \text{ cm}$.

max. zulässiger Wasserstand / max. admissible water level

Übersichtsbauweise / overview



Detail 1

Maßstab / Scale 1:10

Angaben in [mm]

Der Beton unterhalb des T-Finansches ist nur von einer Seite einzufüllen und zu verdichten, um Fortschieben und Luftschüsse unterhalb des T-Finansches zu verhindern. /
The concrete underneath the T-ledge must be filled and compacted from one side only to prevent shifting and air pockets underneath the T-ledge.

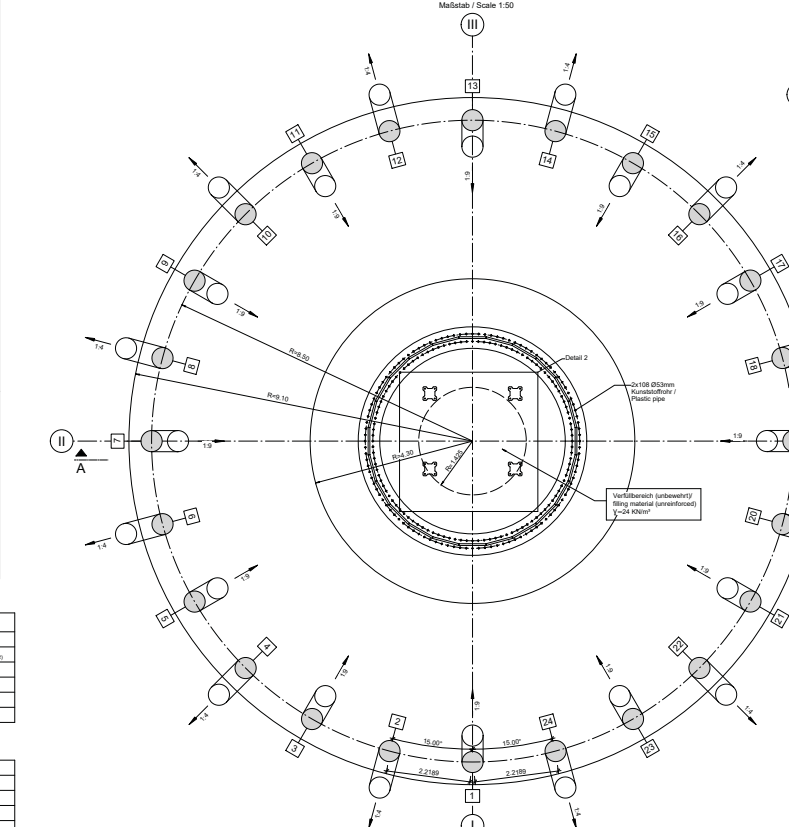
Die Betonoberfläche ist außen bis zur Oberseite des TOK-Bandes hochzuführen. /
The concrete surface must be elevated on the outside to the top of the TOK-band.

Draufsicht Fundament / Top view foundation

Variante / option B

24x Ortbetonrampfpfähle mit $\varnothing=56 \text{ cm}$ /
24x in-situ displacement piles with $\varnothing=56 \text{ cm}$

Maßstab / Scale 1:50

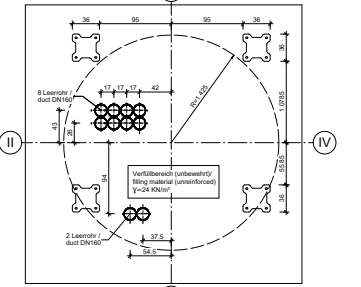


Detail 2

Variante / Option 1

Maßstab / Scale 1:25

Angaben in [cm/m]

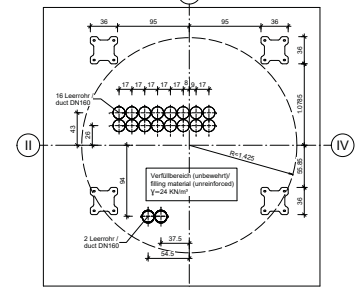


Detail 2

Variante / Option 2

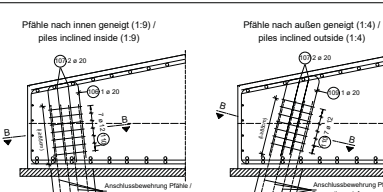
Maßstab / Scale 1:25

Angaben in [cm/m]



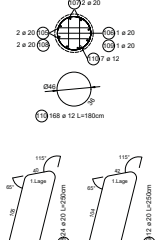
Exemplarische Anschlussbewehrung Pfähle / Exemplary connecting reinforcement piles

Maßstab / Scale 1:25



Schnitt / Section B-B

Maßstab / Scale 1:25



Pos.	Anzahl / number	Gesamt / total	Ø	Länge / Length [m]	Gesamtlänge Subtotal length (m)	
					Ø12	Ø20
105	24	20	2.50	60.00		
106	12	20	2.50	30.00		
107	48	20	2.50	120.00		
108	24	20	2.50	60.00		
109	12	20	2.50	30.00		
110	48	13	1.80	86.40		
Gesamtlänge / Total length				322.40	300.00	
Länge pro Durchmesser / Length per diameter				0.888	2.70	
Gesamtlänge in Durchmesser / Total length in diameter				268.53	741.00	
Total					1008.53	

Einbauteile / Cast-in Elements	Pos.	Menge / Quantity	Bezeichnung / Description	Hersteller / Manufacturer
E1	1	Fundamentbauweise / foundation basket	max. Höhe EMERCON 200 mm, max. L. EMERCON (200 / 200/182)	

VARIANTE B (24 Pfähle) / Alternative B (24 piles)	
Pflanzbeanspruchungen in ULS (eingespannte Pfahlköpfe) / overview pile loads in ULS (clamped pile heads)	
min N =	-2049 kN
max N =	750 kN

Pflanzbeanspruchungen in SLS (max. 1:1,0:1 overview pile loads group NA+T, V=1.0)	
min N =	-329 kN
max N =	352 kN

EMERCON and **HP** logos.

Project Information:
 Auftraggeber: ...
 Auftrag: ...
 Datum: ...

Approval:
 Genehmigt durch: ...
 Geprüft durch: ...

Notes:
 1. Die Ausführung ist nach dem vorliegenden Entwurf zu erfolgen...
 2. Bei Änderungen ist der Entwurf zu ändern...
 3. Die Ausführung ist nach dem vorliegenden Entwurf zu erfolgen...
 4. Bei Änderungen ist der Entwurf zu ändern...

Scale 1:25

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

Oberstand ist durch einen Baugrunderkennungs festlegen.
Bodenauflast ist gegenüberliegend gegen Erosion zu sichern /
Protection must be defined by a geotechnical expert.
Backfill must be secured against erosion if necessary

Bei angebotener Bodenauflastung
Neigungswinkel ist durch einen Baugrunderkennungs
festzulegen, ansonsten Neigungswinkel 1:1.5 ausführen /
For slope backfill
slope angle must be defined by a geotechnical expert
(otherwise standard slope 1:1.5)

max. zulässiger Wasserstand
max. permissible water level

Detail 1
Maßstab / Scale 1:10
Angaben in [mm]



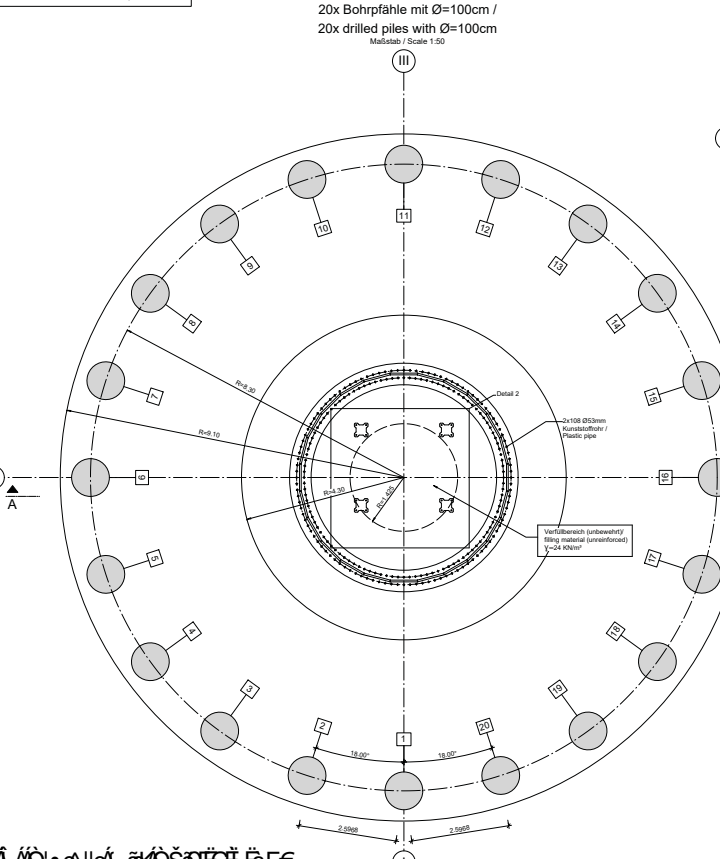
Der Beton unterhalb des T-Flansches ist nur von einer Seite einzustellen und zu verdichten.
Im Fallbereich und Lufteinblasen unterhalb des T-Flansches zu verhindern.
The concrete underneath the T-flange must be fixed and compacted from one side only
to prevent defects and air products underneath the T-flange.

Die Betonoberfläche ist außen bis zur Oberseite des TKF-Bandes hochzuführen /
The concrete surface must be elevated on the outside to the top of the TKF-band.

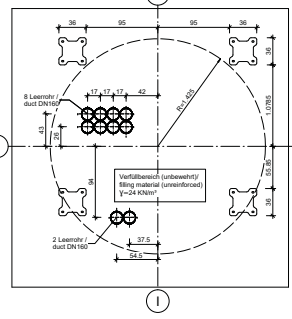
Einbauteile / Cast-in Elements		
Pos.	Quantity	Bezeichnung / Description
E1	1	Fundamentkopf / foundation basket pos. E1
Hersteller / Manufacturer: HAN ANGEN ERCON, etc. / ERCON (ZVR 0989738)		

VARIANTE C (20 Pfähle) / Alternative C (20 piles)		
Pfahlbeanspruchungen in ULS (eingespannte Pfahlköpfe) / overview pile loads in ULS (clamped pile heads)		
min N	-34.15 kN	
max N	95.2 kN	

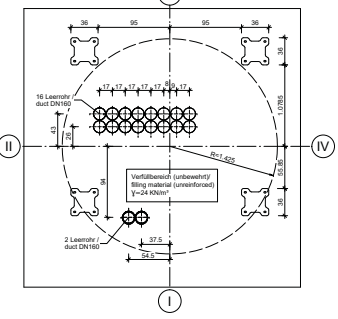
Draufsicht Fundament / Top view foundation
Variante / option C
20x Bohrpfähle mit Ø=100cm /
20x drilled piles with Ø=100cm
Maßstab / Scale 1:50



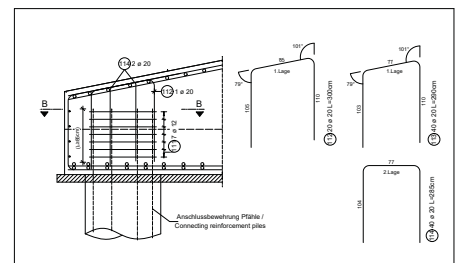
Detail 2
Variante / Option 1
Maßstab / Scale 1:25
Angaben in [cm]



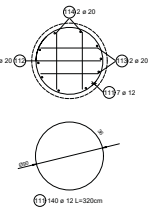
Detail 2
Variante / Option 2
Maßstab / Scale 1:25
Angaben in [cm]



Exemplarische Anschlussbewehrung Pfähle / Exemplary connecting reinforcement piles
Maßstab / Scale 1:25

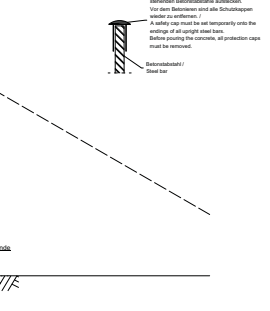


Schnitt / Section B-B
Maßstab / Scale 1:25



Pos.	Anzahl / Number	Ø	Länge / Length	Länge / Subtotal by diameter (kg)
111	140	12	3.20	448.00
112	20	20	3.00	60.00
113	40	20	2.90	116.00
114	40	20	2.85	114.00
Gesamtgewicht / Subtotal by diameters (kg)				448.00
Gesamtgewicht / Subtotal by diameter (kg)				397.82
Gesamtgewicht / Subtotal by diameter (kg)				1114.12

Detail
Schutzkappe / protection cap



- Die Ausführung ist in Übereinstimmung mit den Anforderungen der EN 12698-1:2015, EN 12698-2:2015, EN 12698-3:2015, EN 12698-4:2015, EN 12698-5:2015, EN 12698-6:2015, EN 12698-7:2015, EN 12698-8:2015, EN 12698-9:2015, EN 12698-10:2015, EN 12698-11:2015, EN 12698-12:2015, EN 12698-13:2015, EN 12698-14:2015, EN 12698-15:2015, EN 12698-16:2015, EN 12698-17:2015, EN 12698-18:2015, EN 12698-19:2015, EN 12698-20:2015, EN 12698-21:2015, EN 12698-22:2015, EN 12698-23:2015, EN 12698-24:2015, EN 12698-25:2015, EN 12698-26:2015, EN 12698-27:2015, EN 12698-28:2015, EN 12698-29:2015, EN 12698-30:2015, EN 12698-31:2015, EN 12698-32:2015, EN 12698-33:2015, EN 12698-34:2015, EN 12698-35:2015, EN 12698-36:2015, EN 12698-37:2015, EN 12698-38:2015, EN 12698-39:2015, EN 12698-40:2015, EN 12698-41:2015, EN 12698-42:2015, EN 12698-43:2015, EN 12698-44:2015, EN 12698-45:2015, EN 12698-46:2015, EN 12698-47:2015, EN 12698-48:2015, EN 12698-49:2015, EN 12698-50:2015, EN 12698-51:2015, EN 12698-52:2015, EN 12698-53:2015, EN 12698-54:2015, EN 12698-55:2015, EN 12698-56:2015, EN 12698-57:2015, EN 12698-58:2015, EN 12698-59:2015, EN 12698-60:2015, EN 12698-61:2015, EN 12698-62:2015, EN 12698-63:2015, EN 12698-64:2015, EN 12698-65:2015, EN 12698-66:2015, EN 12698-67:2015, EN 12698-68:2015, EN 12698-69:2015, EN 12698-70:2015, EN 12698-71:2015, EN 12698-72:2015, EN 12698-73:2015, EN 12698-74:2015, EN 12698-75:2015, EN 12698-76:2015, EN 12698-77:2015, EN 12698-78:2015, EN 12698-79:2015, EN 12698-80:2015, EN 12698-81:2015, EN 12698-82:2015, EN 12698-83:2015, EN 12698-84:2015, EN 12698-85:2015, EN 12698-86:2015, EN 12698-87:2015, EN 12698-88:2015, EN 12698-89:2015, EN 12698-90:2015, EN 12698-91:2015, EN 12698-92:2015, EN 12698-93:2015, EN 12698-94:2015, EN 12698-95:2015, EN 12698-96:2015, EN 12698-97:2015, EN 12698-98:2015, EN 12698-99:2015, EN 12698-100:2015.

ENERCON
HAN ANGEN

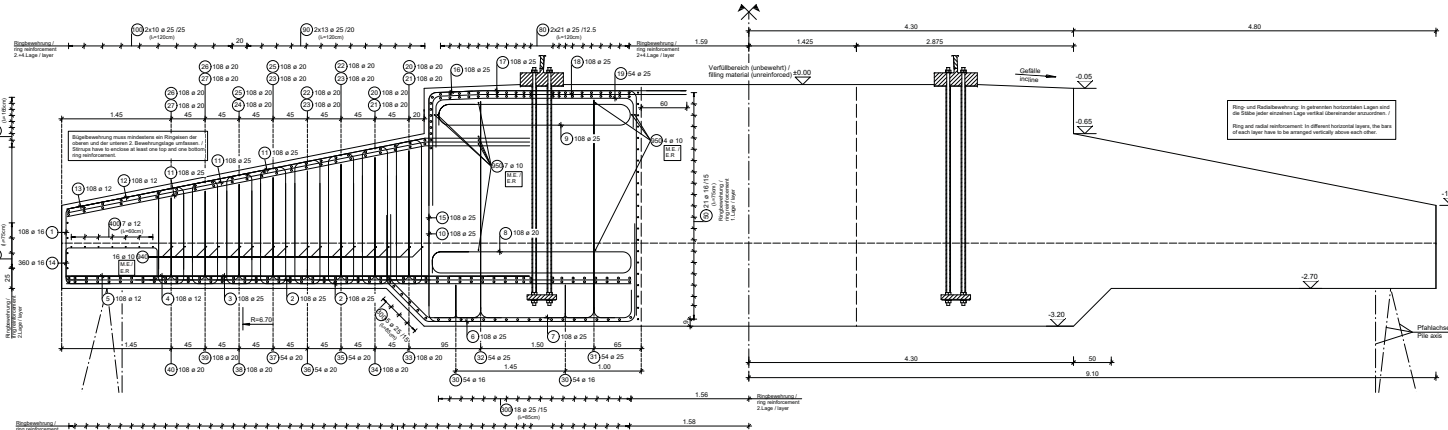
HP
HILF

63/208

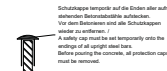
10.08.2020 VV 10.08.2020 HB 10.08.2020 CD

63/208

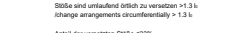
Schnitt / Cross section A-A
Maßstab / Scale 1:25



Detail
Schutzkappe / protection cap



- 1. Zulassungsgang: EMERCON, DIN EN 10645 (IEC 10645:2004+A1:2011), DIN, Richtlinie 2012/22/EU, Zentrale Baugruppen und Festsetzer für die Schutzkappen nach EN 10645.
- 2. Ausführung: Schutzkappen sind aus Stahlblech nach EN 10645 herzustellen. Die Dicke der Schutzkappen muss mindestens 2,0 mm betragen. Die Schutzkappen sind an allen Enden und in den Ecken zu verbleiben.
- 3. Montage: Die Schutzkappen sind auf alle Bewehrungsstäbe zu montieren. Die Schutzkappen sind an allen Enden und in den Ecken zu verbleiben.
- 4. Material: Die Schutzkappen sind aus Stahlblech nach EN 10645 herzustellen. Die Dicke der Schutzkappen muss mindestens 2,0 mm betragen.



Stöße sind ortsfremd und versetzt +1,3x
change arrangements circumferentially +1,3 x

Abstand der versetzten Stöße 53%
percentage of displaced arrangements 53%

Übergrängungslänge (s) ist nach Profilangaben /
overlapping length (s) is see table position

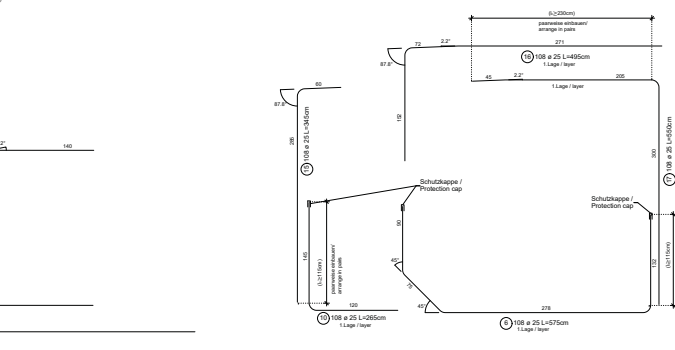
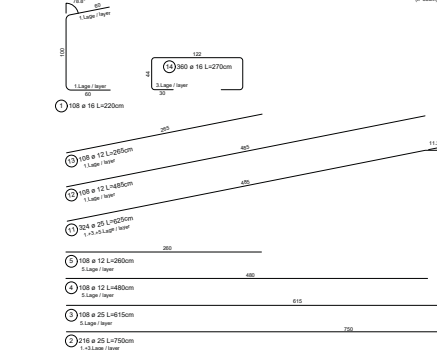


Table with 3 columns: Pos., Anzahl, and Abstände. It lists reinforcement bar positions and their spacings.

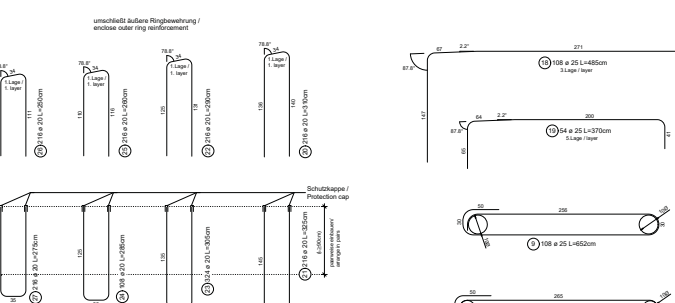


Table with 5 columns: No., Einwirklänge, Radius, Stabzahl, and Gesamtanzahl. It lists reinforcement bar specifications for different diameters and lengths.

Table with 5 columns: No., Einwirklänge, Radius, Stabzahl, and Gesamtanzahl. It lists reinforcement bar specifications for different diameters and lengths.

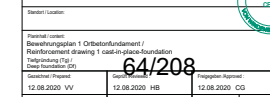
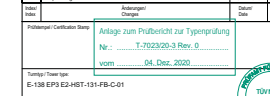
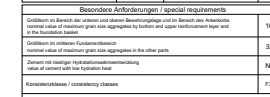
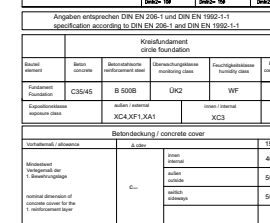
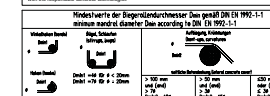
Table with 5 columns: No., Einwirklänge, Radius, Stabzahl, and Gesamtanzahl. It lists reinforcement bar specifications for different diameters and lengths.

Table with 5 columns: No., Einwirklänge, Radius, Stabzahl, and Gesamtanzahl. It lists reinforcement bar specifications for different diameters and lengths.

Table with 5 columns: No., Einwirklänge, Radius, Stabzahl, and Gesamtanzahl. It lists reinforcement bar specifications for different diameters and lengths.

Stahlstabe / Steel shedule

Large table with 5 columns: Pos., Anzahl, and Abstände. It lists reinforcement bar specifications for different diameters and lengths.



Logos and technical specifications for EMERCON and HP. Includes contact information for sales and technical support, and a QR code.

Fundamentdatenblatt

Foundation Data Sheet

E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01

Tiefgründung
Deep Foundation

WZ 2 GK II (DIBt- Richtlinie, Fassung Oktober 2012)
WTC WK IIIA Normal Climate (IEC 61400-1, 3rd edition, 2005-08)

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung

Nr.: T-7023/20-3 Rev. 0

vom 04. Dez. 2020



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, Jörg Scholle 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, Jörg Scholle 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	D0965749-2
Vermerk Note	Originaldokument. Original document

Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2020-11-23	de	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:	Villada Gonzalez, J. / 2020-05-20	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Behrns, M. / 2020-05-20	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

Revisionen / Revisions

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2020-05-20	Dokument erstellt als Entwurf Document created Preliminary	JAV
1	2020-09-02	Dokument aktualisiert gem. Statik und Pläne / Document updated acc. to Structural calculation and Plans	SMS
2	2020-11-23	Dokument aktualisiert gem. TÜV Anmerkungen / Document updated acc. to TÜV Remarks	SMS



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

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

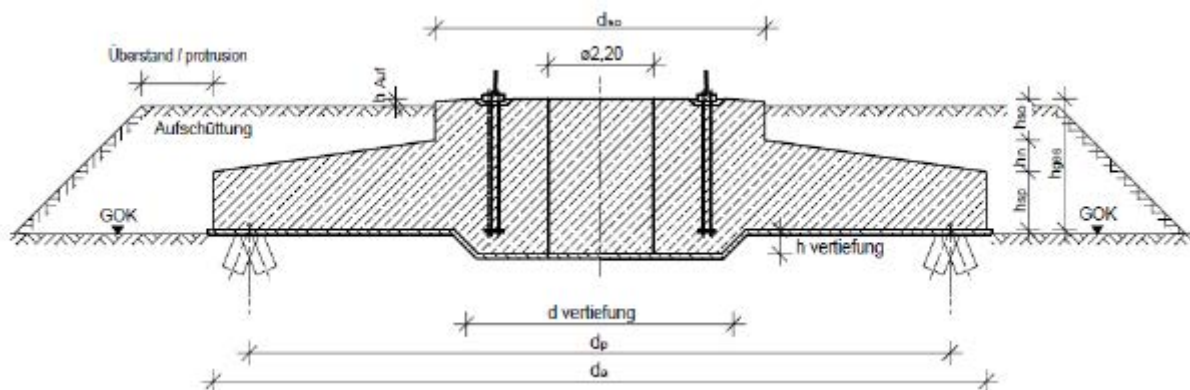
1 Allgemeine Angaben / General information

Typenstatik	H+P Ingenieure	<i>Design-specific structural analysis</i>
Tiefgründung mit Auftrieb	Ø 18,20 m	<i>Pile Foundation with Buoyancy</i>
Auftrag / Datum	E20-033	<i>Order no./ date</i>



2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

Außendurchmesser	d_a	18,20	m	<i>Outer diameter</i>
Sockeldurchmesser	d_{so}	8,60	m	<i>Base diameter</i>
Mittelblockdurchmesser (unbewehrt)	d_i	2,85	m	<i>Inner diameter (unreinforced)</i>
Pfahlkreisdurchmesser Var. A, B	d_p	17,00	m	<i>Pile ring diameter Var. A, B</i>
Pfahlkreisdurchmesser Var. C	d_p	16,60	m	<i>Pile ring diameter Var. C</i>
Fundamenthöhe	h_{ges}	2,70	m	<i>Foundation height</i>
Sockelhöhe	h_{so}	0,65	m	<i>Base height</i>
Höhe Spornneigung	h_n	0,95	m	<i>Spur incline height</i>
Spornhöhe	h_{sp}	1,10	m	<i>Spur height</i>
Differenz Fundamentoberkante - GOK	h_{GOK}	2,80	m	<i>Difference between foundation top edge and ground level</i>
Differenz Fundamentoberkante – Oberkante Aufschüttung	h_{Auf}	0,15	m	<i>Difference between foundation top edge and backfill</i>
Durchmesser Fundamentvertiefung (gemittelt)	$d_{Vertiefung}$	9,10	m	<i>Diameter of foundation recess (averaged)</i>
Vertiefungshöhe	$h_{Vertiefung}$	0,50	m	<i>Recess height</i>
Betongüte und Volumen	C 35/45	496	m ³	<i>Concrete quality and volume</i>
Betonstahl und Gewicht	B 500B	92,7	t	<i>Reinforcement steel and weight</i>
	B 400B	103,3	t	



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaßenkanten ist durch einen Baugrundgutachter festzulegen. Der maximale Grundwasserstand ist bis zum GOK.

The required protrusion of the backfill beyond the outer edges of the foundation must be defined by a geotechnical expert. The maximum ground water table is upto ground level.

Pfähle / Piles:

Variante A / Variant A:	30 Fertigteilrammpfähle nach innen und nach außen geneigt 30 pre-cast driven piles inclined inwards and outwards	a/b	45/45 cm
Variante A / Variant A:	30 Ortbetonrammpfähle nach innen und nach außen geneigt 30 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards	Ø	51 cm
Variante B / Variant B:	24 Ortbetonrammpfähle nach innen und nach außen geneigt 24 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards	Ø	56 cm
Variante C / Variant C:	20 Bohrpfähle vertikal 20 bored piles vertical	Ø	100 cm

2.1 Ergänzende Anforderungen für Tiefgründungen / Additional requirements for deep foundations

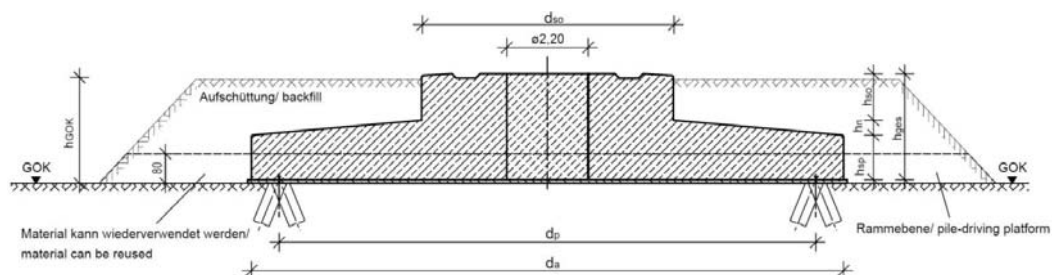
Bei allen Tiefgründungen mit Fertigteil- oder Ortbetonpfählen ist vor Beginn der Pfahlarbeiten eine Rammebene gemäß der folgenden Abbildungen vorzubereiten. Die Rammebene ist auf der Geländeoberkante mit einer Höhe $h=0,8\text{m}$ herzustellen. Etwaige Änderungen an Höhe oder Ausführungsebene sind vor der Ausführung mit ENERCON abzusprechen, und von ENERCON freizugeben.

Die Planung der Rammebene obliegt dem verantwortlichen Baugrundgutachter. Dieser hat eine Aussage über das zu verwendende Material sowie über alle auf die Pfähle einwirkenden Zusatzbelastungen, z. B. durch Seitendruck oder Schräglast, zu treffen.

For all deep foundations with pre-cast or cast-in-situ concrete piles, a pile-driving platform according to the following illustrations must be prepared before piling works. The pile-driving platform must be executed with a height $h=0.80\text{m}$ on top ground level. Possible changes of the height or the level of execution must be agreed with ENERCON before execution, and must be approved by ENERCON.

The geotechnical expert is responsible for planning the pile-driving platform. A statement about the material to be used for the platform, and also about additional loadings onto the piles, e. g. lateral pressure or sloped backfill, must be made by the geotechnical expert.

Tiefgründung mit Bodenaufschüttung / deep foundation with backfill



3 Mindestdreh- und -wegfedersteifigkeiten Minimum rotational and translational spring stiffness

Folgende Mindestwerte sind einzuhalten:

Observe the following minimum values:

Min. Bodendrehfederkonstanten / Min. value of rotational spring	k ϕ ,stat 16250 MNm/rad
	k ϕ ,dyn 130000 MNm/rad
Min. Bodenwegfederkonstante / Min. value of translational spring	kF,dyn 350 MN/m

Es gelten folgende Beziehungen:

The following relations apply:

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

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

4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

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

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

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

5 Pfahlkräfte / Pile loads

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

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

Durch einen Sachverständigen der Geotechnik
kann diese Einbindetiefe reduziert werden.

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

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

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

This anchoring depth can be reduced by means
of geotechnical expertise.

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

5.1 Variante A: Fertigteiltrampfpfähle oder Ortbetontrampfpfähle / Variant A: pre-cast driven piles or cast in-situ concrete piles

Querschnitt Breite/Breite oder	45/45 cm	Cross section width/width or
Querschnitt Durchmesser	51 cm	Cross section diameter
Anzahl	30	Quantity
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	Pile length (proof length in static calculation)
Anzahl Neigung nach außen	15 4,0:1	Quantity outward inclination
Anzahl Neigung nach innen	15 9,0:1	Quantity inward inclination

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gk} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-742	-	-1068	-1810
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-705	1020	315

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

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

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gd} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.35/0.90)	-947	-	-1306	-2253
Zug / Tension	(1.10/0.90)	-	-633	1243	610

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

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

Erläuterungen / Explanations:

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

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

Querschnitt Durchmesser	56 cm	Cross section diameter
Anzahl	24	Quantity
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	Pile length (proof length in static calculation)
Anzahl Neigung nach außen	12 4,0:1	Quantity outward inclination
Anzahl Neigung nach innen	12 9,0:1	Quantity inward inclination

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gk} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-927	-	-1362	-2289
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-881	1273	392

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

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

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gd} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.35/0.90)	-1184	-	-1665	-2849
Zug / Tension	(1.10/0.90)	-	-791	1550	759

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

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

Erläuterungen / Explanations:

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



**5.3 Variante C: Bohrpfähle /
Variant C: Bored piles**

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

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F _{Gk} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F _{Gk} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F _{Qk} in kN	Σ F _k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-1113	-	-1645	-2758
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-1058	1580	522

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

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

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

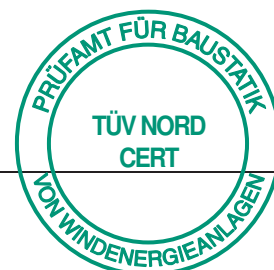
Lastfall / Load case N/A/T	(γ_F / γ_F)	F _{Gd} in kN ohne Auftrieb <i>without buoyancy</i>	F _{Gd} in kN mit Auftrieb <i>with buoyancy</i>	F _{Qd} in kN	Σ F _d in kN
Druck / Compression	(1.35/0.90)	-1421	-	-1994	-3415
Zug / Tension	(1.10/0.90)	-	-949	1901	952

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

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

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F _G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F _Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F _K	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F _d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	Σ F	<i>sum of permanent and varying loads</i>



**5.4 Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen/
Pile stress resultant design values**

Anzahl Pfähle / number of piles		A	B	C
Horizontalkraft (Pfahloberkante) / Horizontal force (top edge of pile)	Hd	59 kN	68 kN	139 kN
Einspannmoment in der Platte / Fixed-end moment in plate	Md	123 kNm*	121 kNm*	328 kNm*
Max. Moment in Pfahlmitte / Max. moment at centre of pile	Md	96 kNm*	126 kNm*	405 kNm*

* in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung

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

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

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

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

5.5 Baugrundaufbau / Subsoil structure

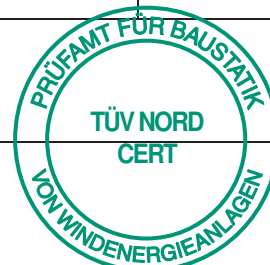
Die Berechnung der zuvor angegebenen Pfahlkräfte und Pfahlschnittgrößen basiert auf den folgenden angenommenen Bodenparametern.

The calculation of the previously listed pile loads and pile stress resultants is based on the following assumed subsoil parameters.

Diese Parameter sind für jeden Standort durch einen Baugrundgutachter zu überprüfen.

These parameters must be checked for each site by a geotechnical expert.

Tiefe ab Fundamentunterkante / Depth starting at foundation bottom edge	Pfahlvariante / Pile option			
	A – B		C	
	Es,stat	Es,dyn	Es,stat	Es,dyn
0 m – 1 m	0 MN/m ²	0 MN/m ²	0 MN/m ²	0 MN/m ²
1 m – 15 m	3 MN/m ²	30 MN/m ²	3 MN/m ²	30 MN/m ²
15 m – 20 m	30 MN/m ²	144 MN/m ²	30 MN/m ²	144 MN/m ²



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

Die angegebenen F_Z -Lasten schließen das Fundamenteigengewicht $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ und die Bodenauflast im Trockenzustand ein. Die Bodenauflast auf das Fundament wird mit $\gamma_{Tr} = 16 \text{ kN/m}^3$ angesetzt.

The F_Z loads indicated include the dead weight of the foundation $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ and the soil weight in dry condition. Soil weight on the foundation is considered with $\gamma_{dr} = 16 \text{ kN/m}^3$.

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)	690	-22259	-21154	82613	3050
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	920	-22259	-21154	115584	-9250
N / A / T	(1.00/1.00)	990	-22259	-21154	130423	-11450

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

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

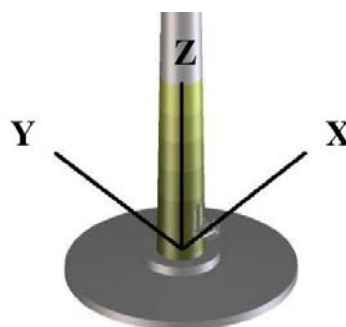
6.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

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 mit Auftrieb with buoyancy	M_{XY} in kNm	M_Z in kNm
N / A / T	(1.35/0.90)	1290	-28418	-18978	157383	-12600

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

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

7 Koordinatensystem / Coordinate system



Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02,
NH 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01),
DIBt WZ S, GK II**

- Lastannahmen für Turm und Fundament -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8118099019-1 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-HST-131-FB-C-01) bezüglich der DIBt 2012 Windzone S, Geländekategorie II

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	28.10.2020	Erste Fassung	Tim Kaczynski

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.....	10
7	Schlussfolgerung	11

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Turm,
"Lastbericht, Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01, Abdeckende Betriebs-
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 der WEA E-
138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"
Dokument-Nr.: D0945981-1
Rev. 1, Datum: 09.09.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis,
"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, Windfelder, Controller (elektronisch erhalten),
Dateiname: E-138_EP3_E2-HST-131-FB-C-01\07_Zeitreihen,
E-138_EP3_E2-HST-131-FB-C-01\Winde,
E-138_EP3_E2-HST-131-FB-C-01\02_Regler
Eingangsdatum: 29.09.2020
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen E138 EP3 E2,
"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] - [2.2] 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 mit einer Nabenhöhe von 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01) ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips).
- Vortexgeneratoren (VG).
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations).
- Gurney Flaps.
- Blattheizung (Anti Icing System).

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

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

Abweichend von den in der DIBt 2012 [2.1] und IEC [2.3] vordefinierten Standardwindklassen, Turbulenzkategorien, Umgebungsbedingungen sowie der Standardsicherheitsklasse, wurde eine Klasse S mit speziellen Parametern definiert, welche in Kapitel 4.1 und Kapitel 4.2 aufgeführt sind.

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.

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 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)	0.12603	0.11
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	2 m/s
Höhenexponent α (für EWM)	0.2 (0.121)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α für die Lastfälle DLC 1.1 und 1.3	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.

	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-HST-131-FB-C-01
Turmhöhe (inkl. 2.8 m Fundamenthöhe)	128.25 m
Nabenhöhe	131 m
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (exkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.59 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5° upwind
Rotornendrehzahl n_r	11.1 U/min
Rotorsolldrehzahl n_s^2	10.8 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4. - 12.765 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	2.0 - 28.0 m/s
Nennwindgeschwindigkeit v_r	12.1 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E2, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5-Prüfsumme: da69b750bb6dd0386183396263ee0c33	
Aerodynamische Profile	Profilname	t/c-Verhältnis [%]
	cylinder_GF	100 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-GF	45 %
	EC145F_VG_-WoRWiT-	45 %
	EC145F_WoRWiT-GF	45 %
	EC135F_VG_-WoRWiT-	35 %

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

³ Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

	Dateiname	
	EC135F-WoRWiT-	35 %
	EC128_VG_WoRWiT-	28 %
	EC128-WoRWiT-	28 %
	EC122-WoRWiT-	22 %
	EC116-WoRWiT-	16 %
Turmstruktur	weich: powprod.\$PJ (1.1_w20102) MD5-Prüfsumme: 27bc57554d645638947a0bc4d3408411 starr: powprod.\$PJ (1.1_s20102) MD5-Prüfsumme: da69b750bb6dd0386183396263ee0c33	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5 checksum: 53689c9b4738993df7b32f3851252e21 Controller Input: E-138_EP3_E2.Daten MD5 checksum: 3bfc0b79472a1a5ce2168a223cd702f2	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

Massenexzentrizität des Rotors	1000 kgm
Fehler des Blattanstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3)	0.0°, +0.3°, -0.3°

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern wurden nicht berücksichtigt.

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

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	100000 MNm/rad (zusätzlich starr: DLCs 1.1, 1.3)

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	0.156 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.994 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.155 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.907 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.160 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.029 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.159 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.934 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01)

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethode

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

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

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. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

5.2.3. Zusätzlich zu der durch unabhängige Nachrechnung geprüften Anlage, schließt diese Gutachtliche Stellungnahme auch Änderungen an der Anlage mit ein, die den Bedingungen aus Kapitel 3 entsprechen.

5.3 Prüfergebnis

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

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

5.4 Schnittstellen

- 5.4.1. Relevante Parameter und Schnittstellenwerte, die über die in Kapitel 4 aufgeführten hinausgehen, sind den Dokumenten [1.1.1] - [1.2.3] 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 [2.3].
- 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] 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 Wenn die 1. Turmeigenfrequenz nicht im Bereich von +5 % der 1. Turmeigenfrequenz "Starr" bis -5 % der 1. Turmeigenfrequenz "Weich" liegt, sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich (siehe Kapitel 3).

7 Schlussfolgerung

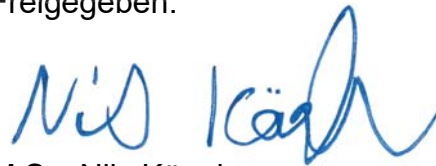
Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu DIBt 2012 [2.1] (unter Berücksichtigung von [2.2]) und IEC [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:



M.Sc. Nils Kägeler

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. 2

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, verschiedene Nabenhöhen bezüglich der DIBt 2012

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.11.2019	Erste Fassung	Simon Wiedemann
1	11.12.2019	Dazugehöriges Dokument [1.2.3] mit Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 ohne Änderung der Lasten aktualisiert.	Simon Wiedemann
2	23.11.2020	Dokumente zu Maschinenbau [1.1.1], Rotorblatt [1.1.2] und Türmen [1.2.3] sowie [1.2.6] (ohne Einfluss auf Designlasten) aktualisiert. Weitere Türme [1.2.7] und [1.2.8] hinzugefügt. Außerdem Design Basis [1.2.1] sowie Liste der Anlagenausstattung in Kapitel 3 aktualisiert. Anmerkungen 5.2.4 und 5.2.5 aufgenommen.	Tim Kaczynski

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.: D0830642-2b
Rev. 2b, Datum: 13.11.2020
- [1.1.2] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Rotorblattlasten,
„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.: D0834228-1d
Rev. 1d, Datum: 13.11.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis,
"Konstruktionsbasis, E-138 EP3 E2"
Dokument-Nr: D0765798-1a
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01,
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, NH 111 m (E-138 EP3-E2-ST-111-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II -
Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D I
Rev. 0, Datum: 01.11.2019
- [1.2.3] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und
E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02,
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 E2-HT-149-ES-C-01 und E- 138 EP3 E2-HT-
149-ES-C-02), DIBt WZ S, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D II
Rev. 3, Datum: 25.08.2020

[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. 2, Datum: 14.01.2020

[1.2.7] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-02,
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, NH 130.025 m (E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-02), DIBt WZ S, GK
I&II - Lastannahmen -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-1 D VII
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

[1.2.8] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01,
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, NH 131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK II
- Lastannahmen für Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8118099019-1 D III
Rev. 0, Datum: 28.10.2020

[1.2.9] 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

[1.2.10] 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

[1.2.11] 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

[1.2.12] ENERCON GmbH:

Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen

“Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche”

Dokument-Nr.: D0869627-0

Rev. 0, Datum: 12.09.2019

[1.2.13] 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

[1.2.14] 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] - [1.2.8] 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] - [1.2.8] 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] - [1.2.8] zu entnehmen.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde Referenz [1.2.3] aktualisiert um den Turm E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02 hinzuzufügen. Dies basiert auf dem Vergleich der Turmeigenfrequenzen.

Mit Rev. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Lastdokumente zu Maschinenbau [1.1.1], Rotorblatt [1.1.2] und Türmen [1.2.3] sowie [1.2.6] (ohne Einfluss auf Designlasten) aktualisiert. Die Türme E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-02 [1.2.7] und E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01 [1.2.8] wurden neu hinzugefügt. Außerdem wurden die Design Basis [1.2.1] sowie die Liste der Anlagenausstattung in Kapitel 3 aktualisiert. Anmerkungen 5.2.4 und 5.2.5 aufgenommen.

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.
- Blattheizung (Anti Icing System).

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] - [1.2.8]	7.5 m/s ²
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit V_1 (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.8]	30.00 m/s
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit V_{50} (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.8]	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/m ³]
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

² Abweichende V_{ave} (IEC) von 7.63 m/s für [1.2.3]

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] - [1.2.8]
Turmhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Nabenhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Rotorblatt	E-138 EP3-RB-02
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	67.795 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	20257 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	391410 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	138.6 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornendrehzahl n_r	10.8 U/min
Rotorsolldrehzahl n_s^3	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

³ Drehzahl auf die im Volllastbetrieb 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] - [1.2.8]	
Controller	siehe [1.2.2] - [1.2.8]	

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
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	siehe [1.2.2] - [1.2.8]

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] - [1.2.8]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.8]

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.
- 5.2.4. Die in [1.2.2] - [1.2.8] geprüften Lastdokumente der Türme verweisen auf eine veraltete Version der Dokumente [1.1.1] und [1.1.2], aber die geprüften Lasten zur Turmauslegung bleiben weiterhin gültig.
- 5.2.5. Die in [1.2.8] geprüfte Konfiguration berücksichtigt keinen zusätzlichen Höhenexponenten α von 0.0 für DLC 1.5.

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] - [1.2.14] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] - [1.1.2] beschriebenen Berechnungskoordinatensystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastberechnung berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1]. Dies erfolgte bereits in den Prüfungen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.8].

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

7 Schlussfolgerung

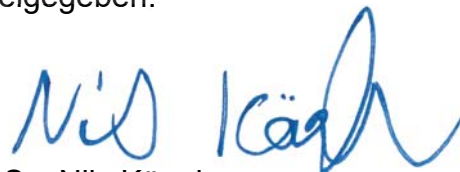
Die in [1.1.1] - [1.1.2] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2, E-138 EP3-RB-02 sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Tim Kaczynski

Freigegeben:



M.Sc. Nils Kägeler

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. 3

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

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller oder Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts, auch auszugsweise, ist nur nach vorheriger schriftlicher Freigabe durch die TÜV NORD CERT GmbH gestattet.

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	28.11.2019	Erstausgabe	O. Raupach
1	02.04.2020	Revision von Unterlagen, Löschung von Auflagen, Ergänzung HT160m	O. Raupach
2	12.08.2020	Ergänzung von Unterlagen (Derating Kurven)	O. Raupach
3	16.11.2020	Ergänzung HST 131m, Revision von Unterlagen, Hinzufügung eines Hinweises auf dem Deckblatt, redaktionelle Änderungen	O. Raupach

Inhalt

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

1 Eingereichte Unterlagen

1.1 Geprüfte Unterlagen

- [1.1.1] ENERCON GmbH
Technical Description
ENERCON Wind Energy Converter – E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0755385-4 / DA
Rev. 4, Datum: 26.08.2019

- [1.1.2] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Elektrisches Blattverstellungssystem E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0854579-0
Rev. 0, Datum: 29.08.2019

- [1.1.3] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Fehlermodes Control System E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0848874-1
Rev. 1, Datum: 16.03.2020

- [1.1.4] ENERCON GmbH
Risikobeurteilung E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0743535-4-1Risikobeurteilung E-138 EP3 E2.xlsx
Rev. 4, Datum: 30.10.2019

- [1.1.5] ENERCON GmbH
E-138 EP3 E2 System Requirement Specification - Scoping
Dokument Nr.: D0764945-3
Rev. 3, Datum: 27.06.2019

- [1.1.6] ENERCON GmbH
Safety Concept /Safety Requirement Specification
E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0830549-0a / DB
Rev. 0a, Datum: 02.08.2019

- [1.1.7] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Bestimmung der Performance Level EP-SCS-02
Dokument Nr.: D0757007-0
Rev. 0, Datum: 17.05.2019

- [1.1.8] ENERCON GmbH
System FMEA E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0877158-0
Workshop 19, Datum: 04.11.2019

- [1.1.9] ENERCON GmbH
Parameterliste
Safety System E-138 EP3 E2, E-115 EP3 E3 -
Dokument Nr.: D0889041-2
Rev. 2, Datum: 15.11.2019

- [1.1.10] ENERCON GmbH
Betriebsanleitung
ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / 4200 kW
Dokument Nr.: D0866277-0 / DC
Rev. 0, Datum: 10.10.2019

- [1.1.11] ENERCON GmbH
Aufbauanleitung
Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-16-015 Rev003b
Rev. 3b, Datum: 15.04.2019

- [1.1.12] ENERCON GmbH
Montageanleitung
Vormontage und Montage Gondel
Windenergieanlage E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: TD-esc-08-de-de-19-050 Rev000
Rev. 0, Datum: 30.08.2019

- [1.1.13] ENERCON GmbH
Arbeitsanleitung
Mechanische Inbetriebnahme und 300 h-Wartung
Windenergieanlage E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0859078-0
Rev. 0, Datum: 28.08.2019

- [1.1.14] ENERCON GmbH
Wartungsanleitung
Hauptwartung Windenergieanlage E-138 EP3 E2
Dokument-No: D0948245-1
Rev. 1, Datum 30.04.2020

- [1.1.15] ENERCON GmbH
Inbetriebnahmeanleitung (elektrisch)
Inbetriebnahme ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0858925-Rev000
Rev. 0, Datum: 23.08.2019
- [1.1.16] ENERCON GmbH
Verladehandbuch
E-115 E3/E-126/E-138 E1E2 EP3
Dokument Nr.: PLM-TES-DC032-VH_E-115E3_E-126_E-138E1E2_EP3-
Rev001de-de
Rev. 1, Datum: 25.10.2019
- [1.1.17] ENERCON GmbH
Prototypentestplan
E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0838022-0
Rev. 0, Datum: 04.11.2019
- [1.1.18] ENERCON GmbH
Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften
Dokument-Nr.: BA_bl_1001-1_Gesundheits-, Arbeits- und
Umweltschutzvorschriften_WEA-Service_Rev001_de-de
Rev. 1, Datum: 12.12.2019
- [1.1.19] ENERCON GmbH
Stellungnahme des Betriebs in Abhängigkeit der Außentemperatur für NC u. CC
Dokument Nr.: D0942308-0 / DZ
Rev. 0, Datum: 25.03.2020
- [1.1.20] Max Bögl
Errichtungsanleitung / Assembly Manual
Dokument WEA ErrAnl E20
Datum: 16.03.2020
- [1.1.21] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung Derating-Kurven E-138 EP3 E2
Dokument-ID: D0757395-2 / DB
Rev. 0, Eingereicht: 10.07.2020
- [1.1.22] ENERCON GmbH
Verladehandbuch Stahltürme (ST/MST/HST)
Dokument-ID: PLM-TES-DC026-VH_Stahltürme_ST_MST_HST-Rev002de-de
Rev. 2, Datum 12.09.2020

1.2 Zugehörige Unterlagen

- [1.2.1] ENERCON GmbH
Design Basis documentation
Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D0765789-1a
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019
- [1.2.2] ENERCON GmbH
Design Basis
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen”
Document-ID: D0666243-3
Rev. 3, Datum: 30.07.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH
Safety Plan / Sicherheitsplan
Windenergieanlage E-138 EP3 E2/E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0815639-2
Rev. 2, Datum: 18.10.2019
- [1.2.4] ENERCON GmbH
Enersafe Report
Dokument Nr.: Enersafe_Report_2019_08_09.pdf
Rev. 0, Datum: 09.08.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH
V&V-Plan
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokument-Nr.: D0870816-1 / DZ
Rev. 1, Datum 14.01.2020
- [1.2.6] ENERCON GmbH
WEA Systementwurf E-138 EP3 E2 (Draft)
Dokument Nr.: D0873562-0
Rev. 0, Datum: 08.10.2019
- [1.2.7] ENERCON GmbH
Stellungnahme Errichtungshandbücher
Dokument Nr.: D0828100-1 / DZ
Rev. 1, Datum: 06.11.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH
Überdrehzahlabschaltungen
Dokument Nr.: D0714684-0
Eingereicht: 15.06.2018

[1.2.9] ENERCON GmbH
 Stellungnahme Anleitung HST-Türme
 Document-ID: D02162828/1.0-de / DD
 dated: 2020-11-12

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Fassung Oktober 2012
- [2.2] International Standard IEC 61400-1:
 "Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, 2005-08
- [2.3] International Standard IEC 61400-1:
 "Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, Amendment 1, 2010-10

3 Einführung

Die Prüfung umfasst die eingereichten Unterlagen [1.1.1] – [1.1.20] und wurde auf Grundlage der in [2] genannten Richtlinien hinsichtlich des Konzepts des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher durchgeführt. Die Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Konfiguration

Die ENERCON E-138 EP3 E2 ist eine dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlage mit einer maximalen Nennleistung von 4200 kW. Die Windenergieanlagen arbeiten nach dem Prinzip variabler Leistung durch Einzelblattverstellung. Das Hauptbremssystem der ENERCON E-138 EP3 E2 Windenergieanlage ist die aerodynamische Bremse durch die axiale Drehung der Rotorblätter, die in einem Bereich zwischen 0° und 92° bewegt werden können.

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

Typ	E-138 EP3 E2
Windklasse	IEC IIIA / DIBt WZ 2 GK2 / WZ S GK2
Nennleistung (max.)	4200 kW
Rotorblatt (Durchmesser)	E-138 EP3-RB-02 (138.25m)

Turm (Nabenhöhe)	ST (81 m, 96m, 111 m, 131 m) HT (149m, 160m) HST (131m)
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 +25°C (Standard-Paket). Bei höheren Umgebungstemperaturen und gleichzeitig starkem Wind kann das Betriebsführungssystem die Windenergieanlage, abhängig von den aktuellen Standortbedingungen, mit reduzierter Leistung betreiben (s. [1.1.21]).

Im Temperaturbereich von -15°C bis -25°C wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Wenn die Temperatur unter -25°C fällt, stoppt die Windenergieanlage.

Für Standorte mit kaltem Klima (Cold-Climate-Paket) reicht der unbegrenzte Betriebsbereich von -30°C bis +25°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.

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 6.1). Mit Dokument [1.2.7] erklärt ENERCON die Gültigkeit des Handbuchs auch für die E-138 EP3 E2 mit ST 81m, 96m, 111m und 131m. Mit demselben Dokument erklärt ENERCON die Gültigkeit auch für die E-138 EP3 E2 mit HT 149m. Weiterhin erklärt ENERCON mit Dokument [1.2.9] die Gültigkeit für den HST 131m.

5.4 Schnittstellen

Die lastrelevanten Parameter, wie z.B. Rotordrehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeitsgrenzen, Bremsprogramme sowie Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen für die Lastberechnungen überprüft.

Der Ausschluss des Lastfalls 2.1 (Überdrehzahl n_4) wurde anhand einer Analyse der auftretenden Häufigkeit vergleichbarer Anlagen bewertet [1.2.8]. Das Ereignis wurde als „abnormal“ bewertet, da die Ausfallrate weniger als einmal in der Lebensdauer (25 Jahre) beträgt. Der Lastfall 2.2 (Überdrehzahl n_A) ist aufgrund des gleichen Sicherheitsfaktors und der höheren Schwelle für Überdrehzahl abdeckend. Diese Annahme wird anhand der in Jahresberichten dokumentierten Häufigkeiten validiert.

6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 Das Handbuch für die Turmmontage ist mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Turmvarianten zu ergänzen und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung einzureichen.
- 6.2 Jede Windenergieanlage dieses Typs muss mindestens entsprechend den Inbetriebnahmeanleitungen getestet werden. Der ordnungsgemäße Zustand ist vom Hersteller zu bestätigen. Der Inbetriebnahmebericht ist dem Betreiber jeweils zusammen mit den Handbüchern und Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen zu übergeben. Die Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen sind zu befolgen und die durchgeführten Arbeiten in den entsprechenden Berichten zu protokollieren.
- 6.3 Alle sicherheitsrelevanten Bauteile und Funktionen sind in Abständen von höchstens zwei Jahren durch einen anerkannten Sachverständigen zu prüfen. Dieses Prüfintervall kann auf vier Jahre verlängert werden, wenn durch von ENERCON autorisierte Sachkundige eine laufende (mind. jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird. Das Ergebnis der wiederkehrenden Prüfung ist in einem Bericht festzuhalten, der mindestens die folgenden Informationen enthalten muss:
- Prüfender Sachverständiger und Anwesende bei der Prüfung
 - Hersteller, Typ und Seriennummer der WEA und deren Hauptbestandteile (Rotorblätter, Getriebe, Generator, Turm)
 - Standort und Betreiber der WEA
 - Gesamtbetriebsstunden
 - Windgeschwindigkeit und Temperatur am Tag der Prüfung
 - Beschreibung des Prüfumfanges
 - Prüfergebnis und ggf. Auflagen

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

7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die ENERCON E-138 EP3 E2 Windenergieanlage in einem sicheren Zustand zu halten.

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

Die Anforderungen der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen (Ausgabe 2012) und der DIN EN 61400-1:2005 an das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie die Handbücher der in Tabelle 4.1 spezifizierten Windenergieanlage werden erfüllt. Die Auflagen und Hinweise in Kap. 6 sind zu berücksichtigen.

erstellt:



Dipl.-Ing. O. Raupach

freigegeben:



Dipl.-Ing. L. Klüppel

An der Prüfung beteiligt:

Dipl.-Ing. G. Ewald

Gutachtliche Stellungnahme

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

- Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 -

TÜV NORD Bericht-Nr.:	8117142915-3 D, Rev. 2
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, 5 und 9 sind aktuell nicht geprüft!

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	26.11.2019	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Passow
1	16.12.2019	Anlagenkonfiguration 8 hinzugefügt, Dokumente hinzugefügt: [1.2.3], [1.2.4]; Dokument aktualisiert: [1.2.2]; Kapitel aktualisiert: 3, 4.2, 4.3 und 5.3	Dipl.-Ing. M. Passow
2	24.11.2020	Anlagenkonfigurationen 9 und 10 hinzugefügt; Dokumente hinzugefügt: [1.1.4]; Dokumente aktualisiert: [1.1.12], [1.2.1], [1.2.2] und [1.2.7]	Dipl.-Ing. M. Passow

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einleitung	6
4	Beschreibung der Komponente	7
4.1	Klimatische Bedingungen.....	7
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	7
4.3	Designlasten	8
4.4	Materialien.....	9
5	Durchgeführte Prüfung.....	9
5.1	Prüfmethode.....	9
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Ergebnisse	10
5.4	Schnittstellen.....	11
6	Auflagen.....	11
7	Schlussfolgerung	12

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

- [1.1.1] "Nachweis zur Zertifizierung, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit, für Lasten nach: IEC 3: WK IIIa, WK S, DiBt 2012: WZ 2, GK II"
Dokument-Nr.: D0846761-0, Rev. 0, Datum: 09.08.2019
- [1.1.2] "Nachweis Rotorblatt, Anhang: Sicherheitsparameter & Berechnungsformeln"
Dokument-Nr.: D0169858-1a, Rev. 1a, Datum: 20.12.2017
- [1.1.3] "Nachweis zur Zertifizierung, Verbindung Blattanschluss E-138 EP3-RB-02 der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit, für Lasten nach: IEC 3: WK IIIa, WK S, DiBt 2012: WZ 2, GK II"
Dokument-Nr.: D0846528-0, Rev. 0, Datum: 22.08.2019
- [1.1.4] Lastvergleich mit Extrem- und Betriebslastuntersuchungen, "Verification Report, E-138 EP3-RB-02 with towers E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01, E-138 EP3 E2 HST-131-FB-C-01, E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 & 02, Static and fatigue verification Load comparison LS12 (11/2019) and LS12 (06/2020)"
Dokument-Nr.: D0986706-0, Rev. 0, Datum: 31.07.2020

Zeichnungen

- [1.1.5] "Rotorblatt, Maßblatt"
Zeichnungs-Nr.: R1382.110.10000, Rev. 00, Datum: 01.07.2019
- [1.1.6] Hauptzeichnung, "Rotorblatt, Zusammenbau"
Zeichnungs-Nr.: R1382.110.10001, Rev. 00, Datum: 22.07.2019
- [1.1.7] "Blattanschluss, Zusammenbau"
Zeichnungs-Nr.: R1382.180.10001, Rev. 04, Datum: 29.05.2019
- [1.1.8] "Blattanschluss, Dehnbolzen DIN976 M42-6g 503x35"
Zeichnungs-Nr.: R1382.180.10002, Rev. 00, Datum: 25.04.2019
- [1.1.9] "Vortexgenerator, Variante A R02.01"
Zeichnungs-Nr.: R92.230.027, Rev. 01, Datum: 08.07.2016
- [1.1.10] "Hinterkantenkamm, Zusammenbau"
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10003, Rev. 00, Datum: 05.04.2018
- [1.1.11] "Blattspitze, Zusätzliche Befestigung"
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10000, Rev. 1, Datum: 27.05.2019

Liste eingereicherter Unterlagen

- [1.1.12] "Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 Unterlagen zur Zertifizierung"
Dokument-Nr.: D0852805-9, Rev. 9, übersendet: 31.07.2020

Materialtests und Spezifikationen

- [1.1.13] "Spezifikation, Materialkennwerte für die Rotorblattauslegung
E-138 EP3-RB-02"
Dokument-Nr.: D0815252-2, Rev. 2, Datum: 30.10.2019

Handbücher und Spezifikationen

- [1.1.14] "Spezifikation, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02"
Dokument-Nr.: D0838021-0a, Rev. 0a, Datum: 16.07.2019
- [1.1.15] "Spezifikation, über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante
Mindestwerte für Rotorblätter allgemein"
Dokument-Nr.: D0223764-3, Rev. 3, Datum: 06.05.2019
- [1.1.16] "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
- [1.1.17] "Spezifikation, Aerodynamisch und aero-akustisch bedingte
Fertigungstoleranzen für Rotorblätter"
Dokument-Nr.: D0701822-1, Rev. 1, Datum: 19.03.2019
- [1.1.18] "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.: D0834228-1d, Rev. 1d, Datum: 13.11.2020
- [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. 2, Datum: 23.11.2020

[1.2.3] Stellungnahme für den Vergleich der Turmeigenfrequenzen zwischen E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, "Stellungnahme Abteilung Lastsimulation, Frequenzvergleich"
Dokument-Nr.: D0871819-1a, Rev. 1a, Datum: 07.11.2019

[1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, "Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 E2-HT-149-ES-C-01 und E- 138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-1 D II, Rev. 1, Datum: 11.12.2019

Design Basis

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

[1.2.6] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Wind Turbine Platform ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE OD 501, IEC 61400-22 - Design Basis -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-0 E, Rev.0, Datum: 12.09.2019

Statischer Rotorblatttest

[1.2.7] "Spezifikation statische und dynamische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"
Dokument-Nr.: D0842787-6, Rev. 6, Datum: 29.10.2020

[1.2.8] "Auswertung - Statische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"
Dokument-Nr.: D0889232-0, Rev. 0, Datum: 15.11.2019

[1.2.9] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report Full-scale rotor blade tests -Rotor Blade E-138 EP3-RB-02-"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-3t E, Rev. 0, Datum: 25.11.2019

Zeichnungen

[1.2.10] IMO GmbH & Co. Kg:
Blattlagerzeichnung, "12874 Rollen-DV, 3-reihig"
Zeichnungs-Nr.: 32-362998/4-12874, Rev. A, Datum: 18.09.2019
ENERCON-Dokument-Nr.: D0733727-4, Rev. 4, Datum: 18.09.2019

[1.2.11] Liebherr Components Biberach GmbH:
Blattlagerzeichnung, "Rollendrehverbindung"
Zeichnungs-Nr.: ROD02994-032DJ18-001-000, Rev. 3.2, Datum: 22.07.2019
ENERCON-Dokument-Nr.: D0812815-3, Rev. 3, Datum: 22.07.2019

2 Prüfgrundlagen

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

Anerkannte Regelwerke

- [2.2] International Standard IEC 61400-22:
"Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification"
Edition 1.0, 2010-05
- [2.3] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"
3rd Edition, 2005-08
- [2.4] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"
3rd edition, Amendment 1, 2010-10
- [2.5] International Standard IEC 61400-23:
"Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades"
Edition 1.0, 2014-04
- [2.6] Germanischer Lloyd:
"Rules and Guidelines, IV - Industrial Services, Part 1 -Guideline for the
Certification of Wind Turbines"
Edition 2010

3 Einleitung

Dieses Dokument beschreibt die Prozedur und die Ergebnisse der Nachweisführung des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02 für die Windenergieanlage E-138 EP3 E2 nach DIBt 2012 Standard mit Anlehnung an IEC 61400-22 in Kombination mit IEC 61400-1 (ed.3, 2005 und Amendment 2010).

In der aktuell vorliegenden Revision 2 der Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Anlagenkonfigurationen 9 und 10 hinzugefügt. Des Weiteren wurden die für die Konfigurationen 6 und 8 durchgeführten neuen Betrachtungen aufgenommen und bewertet.

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 Rotorblatflansch 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	[1.1.9]	[1.1.10]	[1.1.11]	[1.1.8]

Tabelle 4-1: Geprüfte Rotorblattvarianten

Nach [1.1.1] und [1.1.16] hat das Rotorblatt die folgenden Eigenschaften:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:	0,509 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung:	0,793 Hz
Blattlänge:	67,5 m
Blattmasse: (inkl. Bolzen, ohne Heizung)	20010 kg ± 3,5%
(inkl. Bolzen, mit Heizung)	20280 kg ± 3,5%
Schwerpunkt: (Nabenmitte, ohne Heizung)	20,98 m
(Nabenmitte, mit Heizung)	20,78 m
Statisches Moment: (Nabenmitte, ohne Heizung)	419710 kgm ±3.5%
(Nabenmitte, mit Heizung)	421420 kgm ±3.5%
Auslegungszeit:	25 Jahre

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	[1.1.4]
7	E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	Struktur-nachweis [1.1.1] und [1.1.3]
8	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	[1.1.4]
9	E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01	1	DIBt (2012): 2	DIBt (2012): 2	
10	E-138 EP3 E2 HST-131-FB-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		
8	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02	50 / 60 Hz	4,2 MW	149 m		Nicht geprüft
9	E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	96 m		
10	E-138 EP3 E2 HST-131-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	131 m		[1.2.2]

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 [1.1.13] nachgewiesen. Die metallischen Komponenten der Blattfußverbindung sind in [1.1.3] definiert.

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethode

Die Design Basis [1.2.5] wurde in [1.2.6] 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 [1.1.18] 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 [1.1.5] und [1.1.6] sowie den in [1.1.12] 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 [1.1.7]. Die Annahmen zum Blattlager können [1.2.10] und [1.2.11] 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 Rotorblatttheizsystem (siehe [1.1.12]) wurde auf Plausibilität geprüft.

Um die Ergebnisse der Festigkeitsrechnung abzugleichen wurde ein statischer Blatttest, entsprechend [1.2.7] und [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.

5.2 Anmerkungen

Der extreme Temperaturbereich nach Kapitel 4.1 wurde für die Bewertung der Materialeigenschaften [1.1.13] herangezogen.

Gemäß der Gutachtlichen Stellungnahme Lasten [1.2.2] umfassen die Lastannahmen aerodynamische Anbauten wie Vortexgeneratoren, Hinterkantenkamm und Blattspitze.

Von den in [1.1.12] 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 [1.2.7], geprüft in [1.2.9] nach IEC 61400-23 [2.5], erfüllt somit auch die Anforderungen nach GL 2010 [2.6].

Alle Nachweise und Ergebnisse entsprechen den Anforderungen nach [2.1].

Revision 1

Auf Grund der Stellungnahme [1.2.3], geprüft in [1.2.4], sind keine weiteren Betrachtungen für das Rotorblatt durchzuführen. Somit behalten alle getroffenen Aussagen ihre Gültigkeit auch für die Anlagenkonfiguration 8.

Revision 2

Für die Konfigurationen 6, 8, 9 und 10 wurde der Lastvergleich mit der Restsicherheitsanalyse [1.1.4] eingereicht. Der Lastvergleich [1.1.4] vergleicht die Lastrosen der neuen Konfigurationen mit den Entwurfslastrosen (frühere Rev. 0b von [1.2.1]). Wegen der teilweise höheren Extrem- und Betriebslasten wurde eine Restsicherheitsanalyse für die Extremlast auf der Grundlage der Nachweise in [1.1.1] durchgeführt und für die Betriebslasten erfolgte eine Neuberechnung der Restsicherheiten. Es konnte gezeigt werden, dass trotz der Lastüberschreitungen ein ausreichendes Restsicherheitsniveau besteht. Somit kann bestätigt werden, dass das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 den Belastungen für die aktualisierten Konfigurationen 6 und 8 sowie die zusätzlichen Konfigurationen 9 und 10 standhält.

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 790,0 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 [1.1.13] sind durch Materialprüfungen oder Zulassungen zu bewerten. Der angesetzte Temperaturbereich muss bei der Prüfung berücksichtigt werden. Materialwerte (z.B. E-Module) dürfen nicht niedriger sein oder mehr als 10% von den angegebenen Werten abweichen. Für die Herstellung der Laminat sind die aufgeführten Rohmaterialien und Laminierverfahren zu verwenden. Die Rohmaterialien müssen den Anforderungen der GL-Richtlinie [2.6] entsprechen.
- 6.3 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach [2.6] erfüllt.
- 6.4 Um die Kriechverformung des GFK-Anteils in der vorgespannten Verbindung an der Blattwurzel zu berücksichtigen, muss die Vorspannung der Bolzenverbindung nach 4 Wochen bzw. 300 Betriebsstunden (der kürzere der beiden Zeiträume ist maßgebend) überprüft werden.

- 6.5 Nach höchstens zwei Jahren müssen die Rotorblätter durch einen unabhängigen Sachverständigen für Rotorblätter überprüft werden. Dies kann auf höchstens vier Jahre verlängert werden, wenn durch einen vom Hersteller autorisierten Sachkundigen eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung durchgeführt wird. Falls erforderlich müssen vorhandene Risse oder andere Beschädigungen in der Laminatstruktur bewertet und Reparaturmaßnahmen definiert werden.
- 6.6 Für die laufenden Überwachungen und Wartungen durch den Sachkundigen des Herstellers sind die Prüfungen und deren Umfang im Wartungsprotokoll zu dokumentieren. Es sind mindestens die Blattoberfläche, der Bereich der Flanschverbindung zum Blattlager und die Vorspannung der Bolzen zu überprüfen. Schäden, welche die Integrität der Struktur der Rotorblätter betreffen, müssen der TÜV NORD CERT GmbH gemeldet werden.

7 Schlussfolgerung

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

Es bestehen keine Bedenken das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 an der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 mit den in Kapitel 4.3 aufgeführten Konfigurationen zu betreiben.

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

Sachverständige(r):



Dipl.-Ing. M. Passow

Freigegeben:



Dipl.-Ing. M. Polster

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlagen
ENERCON E-138 EP3 E2

- Maschinenbauliche Komponenten -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8117142915-4 D Rev. 2

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 22 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	25.11.2019	- Erstausgabe	F. Rodriguez
1	12.12.2019	- Anlagevariante 6 hinzugefügt	F. Rodriguez
2	23.11.2020	- Berechnung der Schraubverbindung Blattflanschlager aktualisiert - Zeichnung Maschinenträger aktualisiert - Lastannahmen aktualisiert (LS12+) - Anlagenvariante 7 hinzugefügt - GS Turmkopfflansch aktualisiert - Schnittstelle Azimutlager Schraubverbindungen aktualisiert	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

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

5.4	Hinweise und Annahmen	21
5.5	Prüfergebnis	21
5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm	21
6	Bedingungen.....	21
7	Schlussfolgerungen	21

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.: D0852887-1
Rev. 1, vom 16.07.2020
- [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

Lastvergleich

[1.1.29] ENERCON GmbH:

ENERCON Wind Energy Converter E -138 EP3 E2 - Load comparison for
Statics and Fatigue - Load loop 12+
Dokument Nr.: D0996749-0, Rev. 0, vom 20.08.2020

[1.1.30] ENERCON GmbH:

Lastenvergleich E-138 EP3 E2
Dokument Nr.: D1010007, Rev. 0, vom 03.11.2020

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 Nr.: D0765798-1a
Rev. 1a, vom 12.09.2019

[1.2.15] ENERCON GmbH:

Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen
Dokument Nr.: 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.: 8117142915-1 D VI
Rev. 2, vom 23.11.2020

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.: 8115022604-11 D II
Rev. 2, vom 24.08.2020

1.5 Hauptzeichnungen

[1.5.1] ENERCON GmbH:

Nacelle view E-138 EP3 E2
Zeichnung Nr.: EP3.00.148-0
Rev. -, vom 24.09.2018

2 Prüfgrundlagen

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

3 Einleitung

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

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Anlagenkonzept

Die technische Spezifikation der Windenergieanlage ist dem Dokument [1.2.14] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer für alle Komponenten:	25 Jahre
Blattarretierung:	Mechanisch, siehe [1.1.5]
Blattverstellsystem:	Verstellgetriebe mit Motor
Windrichtungsnachführung:	Verstellgetriebe mit Motor
Arretierung der Windrichtungsnachführung:	Motorbremsen der Azimutantriebe
Generatortyp:	Synchron
Generatorbezeichnung:	E-138 EP3 E2-GE-01
Generatorhersteller:	Enercon GmbH

4.2 Umgebungsbedingungen

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

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Windzone gem. DIBt	-10 °C < t < +40 °C	-20 °C < t < +50 °C

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

4.3 Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen

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

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

4.3.1 Blattlager

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: 12889944
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: ROD02994-032DJ18-001-000,
Rev. 03.2, vom 22.07.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5 Hauptlagerung

4.3.5.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: PSL, a.s. (ThyssenKrupp)
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
Nabenseitig
Handelsbezeichnung: PSL612-415
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-415-PV_4, Rev. 4, vom 16.02.2018
Generatorseitig
Handelsbezeichnung: PSL612-416
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-416-PV_5, Rev. 5, vom 16.02.2018
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.2 Alternative Komponente

Hersteller: SKF GmbH
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
Nabenseitig
Handelsbezeichnung: BT1-8212 A/VK443
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8212 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019
Generatorseitig
Handelsbezeichnung: BT1-8213 A/VK443
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8213 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.3 *Alternative Komponente*

Hersteller: FAG Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
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. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.8 **Achsdeckel**

4.3.8.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Stahlteil
Material: C45 (DIN EN 10083)
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.059-3, Rev. 3, vom 15.05.2018
Hinweis: Inkl. Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.9 Rotorarretierung

4.3.9.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.10 Rotorbremse

4.3.10.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: KTR Systems GmbH
Typ: Hydraulische Scheibenbremse
Handelsbezeichnung: KTR-STOP YAW L C-30
Hauptzeichnung Nr.: M 711257, Rev. 2, vom 05.03.2018
Anzahl der Bremsen: 3
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.11 Maschinenträger

4.3.11.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Gussteil
Handelsbezeichnung: Maschinenträger EP3-MC-06
Material: EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.880-3, Rev. 03, vom 30.06.2020
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.12 Generatorstator

4.3.12.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Guss- und 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. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14 Azimutgetriebe

4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: DAT 400/3446 (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. 1-7 (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. 1-7 (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. 1-7 (siehe Tabelle 4.2)

4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

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

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	DIBt Windzone	Gelände-kategorie
1	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01)	WZ 2	GK II
2	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01)	WZ 2	GK II
3	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01)	WZ 2	GK II
4	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02)	WZ 2	GK II
5	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01)	WZ 2	GK II
6	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02)	WZ 2	GK II
7	E-138 EP3 E2	≤ 4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01)	WZ 2	GK II

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethoden

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Inhalt geprüft und bezüglich der Nachweismethoden und der Berechnungsgrundlagen bewertet. Dabei wurden die erforderlichen Sicherheiten und Spannungsreserven berücksichtigt. Die Prüfung erfolgte anhand von Spezifikationen, Berechnungsunterlagen und Zeichnungen, sowie zugehörigen Prüfberichten.

Die Beurteilung der statischen und betriebsfesten Auslegung der maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen basiert auf den Anforderungen der Prüfgrundlagen. Die vorgelegten Prüfunterlagen wurden auf der Grundlage von Plausibilitätsprüfungen oder Vergleichsrechnungen unter Anwendung von analytischen oder numerischen Berechnungsmethoden bewertet.

5.2 Mechanische Komponenten und Antriebe

Die Tragfähigkeit der Kugeldrehverbindungen wurde auf der Grundlage von Hertz'schen Pressungen geprüft. Die maximalen Kontaktspannungen unter den Lastkombinationen von Axiallast, Radiallast und Kippmoment wurden mit den zulässigen Werten verglichen.

Die Lebensdauerberechnungen für die in den Antrieben verwendeten Wälzlager berücksichtigen die erforderlichen Eingangsparameter und vorhandenen Betriebsbedingungen und entsprechen dem internationalen Standard ISO 281 bzw. ISO/TS 16281.

Die Tragfähigkeit von Verzahnungen wurde unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestsicherheiten gegen Grübchenbildung und Zahnfußbruch nach dem internationalen Standard ISO 6336 geprüft.

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 zum Turmkopfflansch und Maschinenträger: 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:



M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:



Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. C. Burges

Gutachtliche Stellungnahme

ENERCON E-138 EP3 E2

– Elektrische Komponenten und Blitzschutz –

TÜV NORD Report Nr.:	8117142915-5 D Rev. 2
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 36 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Experte
0	27.11.2019	Erste Fassung	H. Grafe
1	07.04.2020	Umrichtertestberichte hinzugefügt Technische Beschreibung Cold Climate aufgelistet Alternative Transformatoren aufgeführt Aktualisierte Konstruktionsbasis hinzugefügt EMV Dokumente aufgeführt Weitere Turmhöhe 149 m aufgelistet	H. Grafe
2	23.11.2020	Weitere EMV Risikobeurteilungen aufgeführt Geänderte Seiten: 19 – 21, 36	H. Grafe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
2	Prüfgrundlagen.....	22
3	Einleitung	23
4	Beschreibung der Windenergieanlage	23
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen.....	23
4.2	Klimatische Bedingungen.....	24
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten.....	24
5	Durchgeführte Prüfungen.....	30
5.1	Prüfmethode.....	30
5.2	Anmerkungen.....	30
5.3	Prüfbemerkungen.....	31
5.3.1	Allgemeine Anforderungen an das elektrische System	31
5.3.2	Back-up Spannungsversorgungssystem	33
5.3.3	Elektrische Leiter.....	33
5.3.4	Schutz- und Trenneinrichtungen	33
5.3.5	Blitzschutz- und Erdungssystem	34
5.3.6	Selbsterregung.....	35
5.3.7	Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit	35
5.3.8	Kalt-Wetter-Ausführung.....	35
5.4	Schnittstellen.....	35
6	Auflagen	36
7	Schlussfolgerung.....	36

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

ENERCON E-138 EP3 E2

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

Generator

- [1.1.2] ENERCON
Kurzbeschreibung Generator E-138 EP3 E2-GE-01
Dokumenten-Nr.: D0882532-0a
Rev. 0a, Datum: 24.10.2019
- [1.1.3] ENERCON
Zeichnung Nameplate
Dokumenten-Nr.: D0882535-0
Rev. 0, Datum: 30.10.2019 (empfangen)
- [1.1.4] ENERCON
E-138 EP3 E2-GE-01 Thermisches Verhalten und Prüfung nach DIN 60034
Dokumenten-Nr.: D0882534-1
Rev. 1, Datum: 30.10.2019
- [1.1.5] ENERCON
Herstellereklärung, Drehzahlauslegung des Generator-Rotors vom Typ
E-138 EP3 E2-GE-01
Dokumenten-Nr.: D0882531-0
Rev. 0, Datum: 30.10.2019
- [1.1.6] Arbeitsgemeinschaft Generatorfertigung
Fertigungs- und Prüfprotokoll Scheibenrotor E-138 EP3-E2-GE-01
Dokumenten-Nr.: FPP_1049_E-138 EP3-E2-GE.01_de-de_Rev000_Schei-
benrotor
Rev. 0, Datum: 15.10.2019
- [1.1.7] Arbeitsgemeinschaft Generatorfertigung
Fertigungs- und Prüfprotokoll Scheibenrotor E-138 EP3-E2-GE-01
Dokumenten-Nr.: FPP_1048_E-138_EP3-E2-GE-01_de-de_Rev000_Stator-
ring
Rev. 0, Datum: 23.09.2019

Umrichter

- [1.1.8] ENERCON
Datenblatt PC B2B-Umrichter (Artikel-Nr. 676555)
Dokumenten-Nr.: D0835803-2
Rev. 2, Datum: 27.11.2019 (empfangen)

- [1.1.9] ENERCON
Technische Beschreibung Umrichter B2B V2 SAP 676555
Dokumenten-Nr.: D0849519-1
Rev. 0, Datum: 17.07.2019

- [1.1.10] ENERCON
Technische Information Kühlung Leistungsschrank B2B PC17034
Dokumenten-Nr.: D0852253-0
Rev. 0, Datum: 26.07.2019

- [1.1.11] ENERCON
Zeichnung Power cabinet B2B V2 VAR – assembly view
Dokumenten-Nr.: D0836954-0
Rev. 0, Datum: 05.07.2019

- [1.1.12] ENERCON
Schaltplan power cabinet
Dokumenten-Nr.: D0876520-0b
Rev. 0b, Datum: 21.10.2019

- [1.1.13] ENERCON
Name plate cabinet power – B2B V2 STD
Dokumenten-Nr.: D0887687
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

- [1.1.14] ENERCON
Erklärung zur Überspannungskategorie III des B2B-Umrichters
Dokumenten-Nr.: D0883451-1
Rev. 0, Datum: 16.10.2019

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

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

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

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

- [1.1.19] ENERCON
Prüfbericht Schwingprüfung B2B V1 EN62477-1
Dokumenten-Nr.: D0904865-0
Rev. 0, Datum: 13.02.2020

- [1.1.20] ENERCON
Prüfbericht Prüfung Hydrostatischer Druck B2B V1 EN62477-1
Dokumenten-Nr.: D0918347-0
Rev. 0, Datum: 18.02.2020

- [1.1.21] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung der Vollständigkeit des Schutzgehäuses B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0850230-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.22] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung Kondensatorentladung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0850716-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.23] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung Messung des Berührungsstromes B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0850970-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.24] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung Erwärmungsprüfung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0896794-0
Rev. 0, Datum: 18.02.2020

- [1.1.25] ENERCON
Prüfbericht, Wechsel- oder Gleichspannungsprüfung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0927995-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.26] ENERCON
Prüfbericht, Trockene Wärme Prüfung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0928000-0
Rev. 0, Datum: 18.02.2020
- [1.1.27] AIT
Prüfbericht, ENERCON_EN62447-1 B2B-Umrichter 365kVA
Dokumenten-Nr.: SGP-15893_01R1
Rev. R1, Datum: 17.01.2020

Blitzschutz

- [1.1.28] ENERCON
Technische Beschreibung Blitzschutz
ENERCON Windenergieanlagen EP1, EP2, EP3
Dokumenten-Nr.: D0260891-11
Rev. 11, Datum: 28.10.2019
- [1.1.29] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Flachgründung mit Teilauftrieb
Dokumenten-Nr.: D0872882-0
Rev. 0, Datum: 23.09.2019
- [1.1.30] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Tiefgründung mit Teilauftrieb
Dokumenten-Nr.: D0872883-0
Rev. 0, Datum: 24.09.2019
- [1.1.31] ENERCON
Technische Beschreibung
Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02
Dokumenten-Nr.: D0812489-0
Rev. 0, Datum: 15.05.2019
- [1.1.32] TÜV Süd
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem
Prüfnummer: 2632058-31-d
Rev. 0, Datum: 30.08.2017
- [1.1.33] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel
Dokumenten-Nr.: R1382.190.10001
Rev. 0, Datum: 15.04.2019
- [1.1.34] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile
Dokumenten-Nr.: R1382.190.10000
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

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

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

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

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

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

Schleifringübertrager

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

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

Elektrischer Antrieb Azimut

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

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

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

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

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

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

- Elektrischer Antrieb Pitch

- [1.1.48] ENERCON
Technische Beschreibung Elektrisches Blattverstellsystem
ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0854579-0
Rev. 0, Datum: 29.08.2019

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

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

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

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

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

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

Back-up System, Ladegeräte, Energiespeicher

[1.1.55] LS Mtron Ltd.
Product Specification LSUC 002R7C 3000F EA LT02 EN
Dokumenten-Nr.: V7_20180501
Rev. -, Datum: 20.11.2019 (empfangen)

Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung

[1.1.56] ENERCON
Auslegung Turmkabelanlage E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0854039-1
Rev. -, Datum: 01.08.2019 (empfangen)

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

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

[1.1.59] ENERCON
Technical Description ENERCON Wind Energy Converter Steady-State
Short-Circuit Calculations
Dokumenten-Nr.: D0138322-11
Rev. 11, Datum: 30.08.2019

Schaltpläne

- [1.1.60] ENERCON
Übersichtsschaltplan E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0842364-0
Rev. 0, Datum: 18.07.2019

- [1.1.61] ENERCON
Blattsicherheitsschrank
Dokumenten-Nr.: D0845302-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019

- [1.1.62] ENERCON
Kondensatoreinheit Rotor
Dokumenten-Nr.: D0844192-0
Rev. 0, Datum: 04.07.2019

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- [1.1.82] ENERCON
Akkuschrank
Dokumenten-Nr.: D0665360-0
Rev. 0, Datum: 23.01.2018

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Transformator

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

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

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

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

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

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

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

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

- [1.1.102] Siemens AG Österreich
Technical data sheet – ENERCON SAP XXXXX
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0927913-0
Rev. 00, Datum: 05.02.2020

- [1.1.103] SBG
Technical specification VEY17391
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0927915-0
Rev. -, Datum: 04.02.2020

- [1.1.104] J. Schneider Elektrotechnik
Technisches Datenblatt HBNW 5000A
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190709
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0917413-0
Rev. -, Datum: 09.07.2019

Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.105] ENERCON
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-SP026 MS-Schaltanlage Kurzversion-Rev000de_de
Rev. 0, Datum: 07.11.2017
- [1.1.106] Driescher
Technical Data MINEX ABS® zero 12-24 kV
Dokumenten-Nr.: E6697-A14Z ABS12-24; ENERCON Dokumenten-Nr.: D0708078-0
Rev. -, Datum: 15.06.2016
- [1.1.107] Driescher
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0751294-0
Rev. -, Datum: 19.09.2018
- [1.1.108] Driescher
Technical description ABS® zero
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0708521-0
Rev. -, Datum: 19.09.2019 (empfangen)
- [1.1.109] Driescher
Schaltplan MINEX-24KV A-L
Dokumenten-Nr.: ES0178874
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0753508-0
Rev. -, Datum: 05.09.2018
- [1.1.110] Driescher
Typprüfung 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)
- [1.1.111] 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)

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

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

EMV

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

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

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

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

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

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

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

- [1.1.121] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
IE Client VAR
Dokumenten-Nr.: D0866192-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.122] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
Versorgung intern VAR
Dokumenten-Nr.: D0866191-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.123] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
Einspeisung 230V/400V VAR
Dokumenten-Nr.: D0866190-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.124] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Leistungsschrank
Dokumenten-Nr.: D0855915-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.125] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattregelschrank
Dokumenten-Nr.: D0853523-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.126] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Schleifringübertrager
Dokumenten-Nr.: D0853027-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.127] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Eisansatzerkennung
Dokumenten-Nr.: D0851886-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.128] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Netzfilterschrank
Dokumenten-Nr.: D0849903-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.129] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattrelaisschrank
Dokumenten-Nr.: D0848587-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.130] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Akkuschrank Befeuerung G4 V2.0 BGR 766839/0
Dokumenten-Nr.: D0978096-0
Rev. 0, Datum: 2020-06-26

- [1.1.131] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Steuerschrank Transformator Exx VAR 727096/0
Dokumenten-Nr.: D0977731-0
Rev. 0, Datum: 26.06.2020

- [1.1.132] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Lastregelschrank 739599/0
Dokumenten-Nr.: D0971880-0
Rev. 0, Datum: 10.06.2020

- [1.1.133] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Überdrehzahlschalterbox VAR V3 E-138 EP3 719625/3
Dokumenten-Nr.: D0934621-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.134] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Akkuschrank Befeuerung G4 V2.0 VAR 620074/1
Dokumenten-Nr.: D0933806-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.135] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Netzfilterschrank V2 für E-138 EP3 VAR 748888/3
Dokumenten-Nr.: D0933544-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.136] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Steuerschrank E-138 EP3 V1 IEC/SPE1000 VAR 715173/3
Dokumenten-Nr.: D0929221-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.137] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Schleifringübertrager Enercon V1.0 E138EP3E2 o.Z. m.B. 729780/1
Dokumenten-Nr.: D0928207-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.138] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Kommunikationsverteiler Generator Pulse Control V1 VAR 730915/3
Dokumenten-Nr.: D0928198-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.139] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Gondelsteuerschrank E138 EP3 E2 VAR 726802/2
Dokumenten-Nr.: D0904543-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.140] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Zentralschmiereinheit
Dokumenten-Nr.: D0903092-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.141] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Steuerschrank Transformer Exx V2 VAR 711067/3
Dokumenten-Nr.: D09000216-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.142] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Leistungsschrank B2B V2 VAR 676555/5
Dokumenten-Nr.: D0899647-0a
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.143] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Überspannungsschutz Generator E-138 EP3 VAR mit 18x Varistoren
710016/4
Dokumenten-Nr.: D0897569-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.144] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Rotorunterverteilung E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3 VAR 735566/3
Dokumenten-Nr.: D0893847-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

- [1.1.145] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Blattrelaisschrank E-138 EP3 E2/E-115 EP3 E3 VAR 713107/3
Dokumenten-Nr.: D0890256-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

[1.1.146] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Blattregelschrank E-138 EP3 E2/E-115 EP3 E3 VAR 713514/3
Dokumenten-Nr.: D0884912-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

[1.1.147] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU
Steuerschrank Befuerung 4.0 komplett VAR 625522/2
Dokumenten-Nr.: D0882906-0
Rev. 0, Datum: 25.05.2020

1.2 Zugehörige Dokumente

[1.2.1] ENERCON
Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0765798-1a
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

[1.2.2] ENERCON
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen
Dokumenten-Nr.: D0666243-3
Rev. 3, Datum: 30.08.2018

[1.2.3] ENERCON
Safety Concept / Safety Requirement Specification
ENERCON Windenergieanlagen E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0830549-0a
Rev. 0a, Datum: 02.08.2019

[1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH
Evaluation Report ENERCON E-138 EP3 E2
Electrical Equipment and Lightning Protection
Report No.: 8117 142 915 – 5 E, Rev. 2, Datum: 19.11.2020

[1.2.5] ENERCON
Technische Beschreibung - ENERCON Windenergieanlagen
Option Cold Climate
Dokumenten-Nr.: D0160496-3
Rev. 3, Datum: 2014-04-23

[1.2.6] ENERCON
Stellungnahme – Offene Punkte Elektrik
Dokumenten-Nr.: D0933870-0
Rev. 0, Datum: 2020-03-04

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,
Fassung Oktober 2012
- [2.2] IEC 61400 22:2010 (DIN EN 61400-22:2011)
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung
- [2.3] IEC 61400 1 (DIN EN 61400-1:2011)
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen
Dritte Ausgabe 2005-08 mit Änderungen A1 2010-07
- [2.4] IEC 60034-1:2010 (DIN EN 60034-1:2011)
Drehende elektrische Maschinen
Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- [2.5] IEC 60204-1:2016 (DIN EN 60204-1:2007)
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -
Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [2.6] IEC 61400-24:2010 (DIN EN 61400-24:2011)
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.7] IEC 62305:2010 Serie (DIN EN 62305:2011)
Blitzschutz
- [2.8] IEC 60076-1:2011 (DIN EN 60076:2012)
Leistungstransformatoren, Teil 1: Allgemeines
- [2.9] IEC 62271-1:2007 (DIN EN 62271-1:2007)
Hochspannungs-Schaltgeräte und –Schaltanlagen
Teil 1: Gemeinsame Bestimmungen
- [2.10] DIN EN 62477-1:2013-04
Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme und -be-
triebsmittel, Teile 1: Allgemein
- [2.11] EN 61000-6-4:2006 + A1:2010
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Stör-
aussendung für Industriebereiche
- [2.12] EN 61000-6-2:2005
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Stör-
festigkeit für Industriebereiche

- [2.13] Verordnung (EU) Nr. 548/2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittelleistungs- und Großleistungstransformatoren
- [2.14] DIN 50522:2010
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
- [2.15] DIN 18014:2014
Fundamenterder – Allgemeine Planungsgrundlagen

3 Einleitung

In der DIBt-Richtlinie werden keine direkten Anforderungen an die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme die Anforderungen der IEC 61400-22 / DIN EN 61400-22 und der IEC 61400-1 / DIN EN 61400-1 als Prüfgrundlage definiert. Die Windenergieanlagen (WEA) ENERCON E-138 EP3 E2 wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-22 und IEC 61400-1 überprüft [1.2.4].

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Beschreibung der WEA Konfigurationen

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

WEA Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Max. Nennleistung	Turm / Hubhöhe	Rotordurchmesser / Blatt	Klimabedingung
1	E-138 EP3 E2	50/60 Hz	4.2 MW	Stahl oder Hybrid / 81, 111, 131, 149 oder 160 m	138.25 m / E-138 EP3-RB-02	STW / CCV 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.

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

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)
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
-------------	---------

² Leistungsreduktion für Temperaturen unter -30 °C.

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.

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 \pm 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
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

⁴ Betrieb bis -40 °C mit reduzierter Leistung.

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 Module⁵
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
Frequenz: 50 Hz⁶
Isolationsklasse: F
Schutzart: IP66
Einbauart: B5
Max. Installationshöhe: 1000 m
Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis 50 °C

Azimutumrichter:

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

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

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

- **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

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

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
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+4x2,5 %	+4x2,5 %	+4x2,5 %
Kühlung:	KFWF	KFWF	KFWF
Schutzart:		IP00	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C

Weitere Transformatoren

Hersteller:	SBG	J. Schneider Elektrotechnik	Siemens
-------------	-----	--------------------------------	---------

Bezeichnung:	DST 4600 H/30	HBNW 5000A	TDU-503A02W5H-TU
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz	60 Hz ⁸	50 Hz ⁷
Nennleistung:	4600 kVA	5000 kVA	4600 kVA
Nennspannung (HV):	34500 V	34500 V	34500 V
Nennspannung (LV):	630 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	±2x5 %	±2x2,5 %	±2x5 %
Kühlung:	KFWF	KFWF	KFWF
Schutzart:	IP00 ⁹	-	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-40 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C
Max. Installationshöhe:	2000 m	1000 m	2000 m

• **Mittelspannungsschaltanlage**

Hersteller:	Driescher
Bezeichnung:	Minex ABS® zero 12-24 kV
WEA Variante:	1
Frequenz:	50/60 Hz
Nennspannung:	12 kV 17,5 kV 24 kV
Nennstrom (Kabelabgang):	630 A
Nennstrom (Leistungsschalter):	630 A
Schutzart:	Tank IP67 ¹⁰
Isolationsmedium:	SF ₆
Störlichtbogenklassifikation:	IAC AFLR 20kA 1s

⁸ Der Transformator muss projektspezifisch angepasst werden. Wir haben keine Einwände, die aufgeführten Transformatoren in 50 Hz Varianten zu installieren.

⁹ Schutzart der Durchführungen

¹⁰ Schaltgehäuse IP67, Frontabdeckung IP2X, Kabelfeld IP3X

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.

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. Flugbefehrer oder Eissensoren, sind korrekt in das bestehende Blitzschutzsystem zu integrieren.
- 5.2.3 Die Konformität der Erdungsanlage des Fundamentes mit den einschlägigen Standards (DIN EN 50522, bzw. DIN 18014 für das Erdungssystem einer Hochspannungsanlage) und die Berücksichtigung der lokalen Vorschriften und Bedingungen vor Ort sind durch einen Fachmann zu bestätigen.
- 5.2.4 Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Kabel von Nagetieren oder anderen Tieren beschädigt werden können, so müssen bewehrte Kabel oder Schutzrohre verwendet werden. ENERCON hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.
- 5.2.5 Die Erfüllung der Anforderungen der lokalen Netzbetreiber und die Einhaltung der Netzanschlusskriterien sind vom Hersteller vor der WEA-Installation zu überprüfen und nachzuweisen. Diese Nachweise sind nicht Teil der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme, sondern sind separat im Rahmen der Netzanschlussbegutachtung der Windenergieanlagen und der Windparks zu erbringen.
- 5.2.6 Die Konformitätsbescheinigung für die E-138 EP3 E2 [1.1.1] liegt nur im Entwurf vor.

5.2.7 Bei Installationen der E-138 EP3 E2 über 1000 m ü. NN ist zu prüfen, ob die elektrischen Komponenten die geänderten Anforderungen erfüllen.

5.3 Prüfbemerkungen

5.3.1 Allgemeine Anforderungen an das elektrische System

- Generator

Die E-138 EP3 E2 wird mit dem Generator E-138 EP3 E2-GE-01 des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Alle relevanten Daten zum Design werden in den Unterlagen [1.1.2] - [1.1.7] korrekt aufgeführt. Bei der Generatorfertigung werden schon einige Prüfungen durchgeführt. Die Messung des thermischen Verhaltens wird in der Prototyp WEA durchgeführt. Die E-138 EP3 E2 wurde noch nicht errichtet. Dementsprechend konnten die Prüfungen noch nicht durchgeführt werden. Bei ähnlichen Generatortypen lag die thermische Stabilität bei den Prüfungen des Generators deutlich unter den maximalen Auslegungstemperaturen [1.2.6]. Aufgrund der großen Erfahrung von ENERCON mit ähnlichen Generatortypen haben wir keine Einwände gegen den fehlenden Generatortest. Die abschließenden Prüfergebnisse der Generatorprüfungen sind noch einzureichen [6.1].

Der Generator E-138 EP3 E2-GE-01 ist entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 [2.4] geplant.

- Umrichter

DIE WEA E-138 EP3 E2 ist mit 14 4-Q-Umrichtern, Bezeichnung Leistungsschrank - B2B V2 [1.1.8] - [1.1.14], ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON gemäß den Anforderungen der IEC 62477-1 entwickelt und konstruiert. ENERCON hat den Leistungsschrank zunächst nach den Anforderungen vom DNVGL-ST-0076 getestet. Dieser Standard umfasst auch die wichtigsten Prüfungen der IEC 62477-1. Allerdings sind die Prüfungen der IEC 62477-1 nicht komplett im DNVGL-ST-0076 erfasst. Deshalb sind die fehlenden Prüfungen der IEC 62477-1 noch durchzuführen. Der Typentest des B2B V2 wurde noch nicht durchgeführt. Der B2B V2 ist eine Weiterentwicklung des Vorgängermodells B2B V1 mit einer ähnlichen Konstruktion. Für den B2B V1 wurden die Tests erfolgreich durchgeführt [1.1.15] - [1.1.27]. ENERCON erwartet, dass sich das thermische und elektrische Verhalten der beiden Umrichter nicht wesentlich unterscheidet. Eine Prüfung zum Nachweis der Erfüllung der EMV-Anforderungen wurde noch nicht durchgeführt. Allerdings hat ENERCON eine EMV-Risikoanalyse durchgeführt. Wir haben keine Einwände gegen die fehlenden Testberichte. Diese sind nach Durchführung der Prüfungen der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.2].

- Pitch System

Jedes Rotorblatt ist mit einem DC Motor ausgerüstet. Der Motor wird über einen DC-Umrichter gesteuert. In besonderen Fällen kann der Motor direkt über die Notstromversorgung der Ultrakondensatoren versorgt werden. Der im Kapitel 4 aufgeführte Motor wird entsprechend der IEC 60034-1 konstruiert und getestet [1.1.48] - [1.1.54].

- Azimutantrieb

Die E-138 EP3 E2 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.42]. Es werden Drei-Phasen-Asynchron-Motoren eingesetzt. Die im Kapitel 4 aufgeführten Motoren sind entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 ausgeführt und getestet. Eine Bremse und ein Temperatursfühler sind am Motor montiert [1.1.43] - [1.1.47].

- Schleifring

Die WEA E-138 EP3 E2 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem, Bezeichnung EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1 [1.1.40], [1.1.41], ausgerüstet. Der im Kapitel 4 aufgeführte Schleifring wird von ENERCON entsprechend den Umgebungsbedingungen im Hub ausgelegt.

- Transformator

Der Transformator ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. In den WEA E-138 EP3 E2 werden flüssigkeitsgefüllte (synthetisches Ester) Transformatoren eingesetzt. Die Anforderungen, wie Schutz gegen Kurzschluss, Temperatur, Drucküberwachung oder Füllstandsüberwachung werden in den ENERCON eigenen Spezifikationen [1.1.94] und [1.1.95] gefordert. Des Weiteren sind in [1.1.96] die erforderlichen Prüfungen und Test beschrieben.

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

Für die in Kapitel 4.3 aufgeführten Transformatoren fehlen noch einige technische Daten. Des Weiteren fehlen noch einige Unterlagen und verschiedene Dokumente sind nur als Entwurf eingereicht worden. ENERCON sollte die fehlenden Unterlagen von den Transformatorherstellern einreichen.

Es ist von ENERCON eine Liste der eingesetzten Transformatoren zu übermitteln.

- Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. Die Schaltanlage wird, wie schon oben bei den Transformatoren beschrieben, abhängig von den projektspezifischen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifische Anpassung der Schaltanlage wird im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils eine Schaltanlage je Hersteller exemplarisch und stellvertretend geprüft und aufgeführt. Die Schaltanlage muss zum einen die unter [1.1.105] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie zum anderen die relevanten Teile der IEC 62271 erfüllen.

Es ist von ENERCON eine Liste der eingesetzten Mittelspannungsschaltanlagen zu übermitteln.

- Schaltpläne

Die Schaltpläne [1.1.60] - [1.1.93] und zugehörigen Stücklisten wurden von uns stichprobenartig überprüft. Diese Überprüfung unter Berücksichtigung der Forderungen der IEC 60364 ergab keine Auffälligkeiten. So entsprechen z. B. die Dimensionierungen der Sicherungen den normativen Forderungen. Gegen die Installationen der Schutz- und Trenneinrichtungen gemäß den vorgelegten Schaltplänen haben wir keine Einwände.

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

Die Konformitätserklärung (CE) [1.1.1] für die E-138 EP3 E2 umfasst alle von ENERCON entwickelten und hergestellten elektrischen Komponenten.

5.3.2 Back-up Spannungsversorgungssystem

Jedes Blatt ist mit einem Back-up Spannungsversorgungssystem ausgerüstet. Diese Systeme bestehen jeweils aus vier in Serie geschalteten Kondensatormodulen (75 V, 94 F).

Die Kapazitätsberechnungen für den Anforderungsfall sind in [1.1.48] ausreichend aufgeführt. Die Spannung der Kondensatoren wird permanent überwacht. Die Ladung der Module erfolgt durch das im Blattregelschrank installierte „capacitor-charging module“. Dieses Modul wird von ENERCON entwickelt.

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

5.3.3 Elektrische Leiter

Die E-138 EP3 E2 wird mit 14 Umrichtern ausgerüstet. Daher werden zwischen Generator und Umrichter 14*3 Leistungskabel installiert. Im Bereich Kabelloop werden Kupferkabel, z. B. WINDFLEX GLOBAL EMC (S-3GDShOEu) von Prysmian [1.1.58] mit einem Querschnitt von 1x240 mm², und im Turm Aluminiumkabel, z. B. PROTOTHEN-X (N)A2XSY von Prysmian [1.1.57] mit einem Querschnitt von 1x240 mm², verwendet. Die Berechnung der Stromtragfähigkeit ist ausreichend in [1.1.56] dargestellt.

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

5.3.4 Schutz- und Trenneinrichtungen

Die WEA ist mit Schutzgeräten zum Schutz der elektrischen Komponenten ausgestattet. Diese schützen die Turbine selbst sowie die externen elektrischen Systeme im Falle einer

Fehlfunktion. Die WEA kann vom elektrischen Netz getrennt werden. Diese Netztrennung kann automatisch durchgeführt werden, z. B. bei einem Fehler, oder manuell, z. B. zu Wartungszwecken. Außerdem ist das elektrische System der WEA mit Überspannungsschutzgeräten ausgerüstet.

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

5.3.5 Blitzschutz- und Erdungssystem

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

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

Das Blitzschutzsystem der ENERCON WEA E-138 EP3 E2 ist für den Gefährdungspegel LPL I ausgelegt [1.1.28]. Dies ist das höchstmögliche Schutzlevel. Die Festlegung der verschiedenen Blitzschutzzonen sowie auch der Potentialausgleich sind ebenfalls in diesem Dokument beschrieben.

Die Erdungsanlage der E-138 EP3 E2 ist in [1.1.93] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.39] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in den Zeichnungen [1.1.29] und [1.1.30] dargestellt. Zur Erfüllung der Anforderungen der Erdungsanlagen sind insbesondere im Rahmen der DIBt neben den IEC Anforderungen auch die Forderungen der DIN 50522 sowie DIN 18014 zur Planung und Ausführung von Erdungsanlagen zu berücksichtigen [5.2.3]. Die Erdungsanlage kann projektspezifisch auf die vorhandenen Erdungsbedingungen angepasst werden.

Die E-138 EP3 E2 wird mit E-138 EP3-RB-02 Rotorblättern des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Das Design des Blattes sowie auch des Blitzschutzsystems ist ähnlich dem Blatt E-103 EP2-RB-01 [1.1.31]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems des Blattes E-103 EP2-RB-01 wurde entsprechenden den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV Süd geprüft [1.1.32]. ENERCON definiert eine erhöhte Anforderung LPL I+ (Spitzenstrom 300 kA, Ladung der Kurzentladung bis 150 C) für das Blitzschutzsystem der Rotorblätter. Diese Anforderung wurde ebenfalls vom TÜV Süd für das Rotorblatt E-103 EP2-RB-01 bestätigt. Die Betrachtung zur Ähnlichkeit der beiden vorgenannten Blätter beschreibt auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse zum Blitzschutzsystem vom Blatt E-103 EP2-RB-01 auf das Blatt E-138 EP3-RB-02. Des Weiteren ist das Blitzschutzsystem des Blattes E-138 EP3-RB-02 in den Zeichnungen [1.1.33] - [1.1.38] dargestellt.

Die Anforderungen der IEC 61400-1 werden vom Blitzschutzsystem der WEA E-138 EP3 E2 erfüllt.

5.3.6 Selbsterregung

Die E-138 EP3 E2 ist mit einem direkt gekoppelten Synchrongenerator ausgestattet. Der Generator wird elektrisch erregt, wodurch er sich nicht selbsterregen kann. Des Weiteren ist die WEA mit einem Vollumrichtersystem ausgestattet. Dieses ermöglicht die Trennung der Generatorverbindung. Daher sind die diesbezüglichen Anforderungen der Norm 61400-1 als erfüllt anzusehen.

5.3.7 Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit

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

Die IEC 61400-1 fordert die Vermessung der Netzverträglichkeit der WEA gemäß den Forderungen der IEC 61400-21. Die Validierung der entsprechenden Ergebnisse ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich, da der Prototyp der Anlagen noch nicht final errichtet ist.

Messungen zu Netzverträglichkeit entsprechend der IEC 61400-21 und den relevanten EMV-Standards werden am Prototyp der E-138 EP3 E2 durchgeführt.

Die Prüfprotokolle der EMV-Messungen sind dem TÜV NORD nach erfolgter Messung zu übersenden.

Die durchzuführenden EMV-Messungen sind im Dokument [1.1.114] aufgeführt. Diese Prüfungen sind noch nicht erfolgt. ENERCON hat Risikobeurteilungen nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU für die relevanten Komponenten durchgeführt [1.1.115] - [1.1.147]. Aufgrund der Risikobeurteilungen haben wir keine Einwände gegen die fehlenden EMV-Messberichte.

5.3.8 Kalt-Wetter-Ausführung

Die E-138 EP3 E2 kann auch als Kalt-Wetter-Ausführung (CCV) ausgerüstet werden. Die Anpassungen für diese Variante sind in [1.2.2] beschrieben. Einige Komponenten sind nicht für den gesamten Kalt-Wetter-Temperaturbereich ausgelegt. Die Aufheizstrategie ist im Dokument [1.2.5] beschrieben.

5.4 Schnittstellen

Die Sicherheitskette ist in Dokument [1.2.3] beschrieben. Die Sensoren und Aktoren der Sicherheitskette sind in den WEA Schaltplänen korrekt dargestellt.

6 Auflagen

Die beiden unten aufgeführten Auflagen für das elektrische System der E-138 EP3 E2 werden von uns als nicht sicherheitskritisch bewertet. Die entsprechenden Nachweise, dass die Auflagen geklärt sind, müssen vor der endgültigen Inbetriebnahme der E-138 EP3 E2 eingereicht werden.

- 6.1 Die Prüfberichte für den Generator E-138 EP3 E2-GE-01 sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen.
- 6.2 Die Testberichte für den Leistungsschrank - B2B V2 sind der Zertifizierungsstelle zu übermitteln. Weiterhin sollte ein Nachweis der Erfüllung der EMV-Anforderungen für den Leistungsschrank eingereicht werden.

7 Schlussfolgerung

Das elektrische System der E-138 EP3 E2 - die zugehörigen Anlagen sind im Detail unter Kapitel 4.1 aufgelistet - erfüllt die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit auch die Anforderungen der DIBt.

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

Sachverständiger:



M. Sc. Holger Grafe

Freigabe:



Dr. Ralf Kotte

Gutachtliche Stellungnahme

für die Windenergieanlage E-138 EP3 und E-138 EP3 E2,
verschiedene Konfigurationen

- Turmkopfflansch -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604-11 D II Rev.2

Gegenstand der Stellungnahme: a) Turmkopfflanschbaugruppe gemäß DIBt Richtlinie (Fassung Oktober 2012)
b) Numerisch bestimmte Übertragungsfunktionen für den Kopfflansch

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Die Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Prüfer
0	08.02.2019	Erstausgabe	C. Fischer
1	29.10.2019	<ul style="list-style-type: none"> Gutachtliche Stellungnahmen zu Lasten und Lastvergleich der vorherigen Revision; [1.2.4] und [1.2.8] Zusätzliche Lastschleife 26+++ für E-138 EP3; [1.2.4], [1.2.6] und [1.1.3] Zusätzliche Anlage E-138 EP3 E2; [1.1.2], [1.2.9], [1.2.10] und [1.2.16] 	C. Fischer
2	24.08.2020	<ul style="list-style-type: none"> Aktualisierung der Dokumente [1.1.2] und [1.1.5] aufgrund angepasster Kopfflanschgeometrie Lastvergleichs [1.1.4] hinzugefügt Aktualisierung von [1.2.10] Weitere Lastdokumente [1.2.11] bis [1.2.13] hinzugefügt Redaktionelle Änderungen 	C. Fischer

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen für E-138 EP3

[1.1.1] ENERCON GmbH:

„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“

Dokument Nr.: D0713132-0, Rev. 0, Datum: 30.05.2018

Statische Berechnungen für E-138 EP3 E2

[1.1.2] ENERCON GmbH:

„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Schraubverbindungen des Azimutlagers und Turmkopfflansch Statik und Betriebsfestigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 2, GK II“

Dokument Nr.: D0865130-2a, Rev. 2a, Datum: 03.08.2020

Lastvergleich für E-138 EP3 und Lastschleife LS26+++

[1.1.3] ENERCON GmbH:

„Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 Load comparison for Statics and Fatigue Load loop 26+++ Loads according to: DIBt 2012 and IEC III“

Dokument Nr.: D0858443-0, Rev.0, Datum: 14.08.2019

Lastvergleich für E-138 EP3 E2 und Lastschleife 12+

[1.1.4] ENERCON GmbH:

„Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E2 Tower head flange and bolted joint at yaw bearing Load comparison for Statics and Fa-tigue Load loop 12+ Loads according to: DIBt 2012 and IEC 61400-1 edition3“

Dokument Nr.: D0996671-0, Rev.0, Datum: 20.08.2020

Anlagen

[1.1.5] ENERCON GmbH:

Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“,
Zeichnungs-Nr.: 115.03.003-4, Rev. 4, Datum: 20.04.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen für statische Berechnungen des Kopfflansches für E-138 EP3

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

Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau für E-138 EP3

- [1.2.2] ENERCON GmbH:
"ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 Lastannahmen für maschinenbauliche Nachweise"
Dokument Nr.: D0672479-0, Rev. 0, Datum 18.06.2018
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Lastschleife 26++ „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
- [1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D IV Rev.2, Datum: 08.03.2019
- [1.2.5] ENERCON GmbH:
Lastschleife 26+++ „Lastenbericht Maschinenbau E-138 EP3 Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-01 nach DIBt und IEC“
Dokument Nr.: D0722965-3a, Rev. 3a, Datum: 19.08.2019
- [1.2.6] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3, RB E-138 EP3-RB-01, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8115920151-1 D IV Rev.4, Datum: 22.08.2019

Lastvergleich für E-138 EP3

- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 Load comparison 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

[1.2.8] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-138 EP3 - Maschinenbauliche Komponenten -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 092 817-4 D Rev. 0, Datum: 16.05.2019

Lastannahmen der statischen Berechnungen des Kopfflansches für E-138 EP3 E2

[1.2.9] ENERCON GmbH:
„Zertifizierungsunterlagen ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Last-
annahmen für maschinenbauliche Nachweise“
Dokument Nr.: D0833103-2, Rev. 2, Datum: 01.08.2019

Lastannahmen für maschinenbauliche Komponenten der E-138 EP3 E2

[1.2.10] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Maschinenbau E-138 EP3 E2 Abdeckende Betriebs- und Ext-
remlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 E2 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-
RB-02 nach DIBt und IEC“
Dokument Nr.: D0830642-2, Rev. 2, Datum: 01.06.2020

[1.2.11] Lastannahmen für maschinenbauliche Komponenten der E-115 EP3 ENERCON
GmbH:
„Lastannahmen für maschinenbauliche Nachweise, E-115 EP3“
Dokument Nr.: D0588274-2, Rev. 2, Datum: 01.09.2017

Lastannahmen für maschinenbauliche Komponenten der E-115 EP3 E3

[1.2.12] ENERCON GmbH:
„Lastannahmen für maschinenbauliche Nachweise, E-115 EP3 E3“
Dokument Nr.: D0838621-1, Rev. 1, Datum: 23.07.2019

Lastannahmen für maschinenbauliche Komponenten der E-126 EP3

[1.2.13] ENERCON GmbH:
„Lastannahmen für maschinenbauliche Nachweise, E-126 EP3“
Dokument Nr.: D0618509-4, Rev. 4, Datum: 18.04.2018

Zeichnungen zum Turmkopf

[1.2.14] ENERCON GmbH:
„Azimutlager Ø3347 Ø3059 m18 z195 x0.5 “
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.422-1, Rev. 1, Datum: 09.02.2018

[1.2.15] ENERCON GmbH:
„Maschinenträger EP3-MC-04“
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.444-3, Rev. 3, Datum: 17.04.2018

- [1.2.16] ENERCON GmbH:
„Maschinenträger EP3-MC-06“
Zeichnungs-Nr.: EP3.03.880-1, Rev. 1, Datum: 04.11.2019

Statische Berechnungen hinsichtlich Bruchzähigkeit

- [1.2.17] 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
- [1.2.18] 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 hin-
sichtlich struktureller Integrität im Sinne von [2.1] für die in Tabelle 4.1 aufgeführten An-
lagenkonfigurationen.

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

In Revision 2 dieser Stellungnahme werden die Anpassungen an der Kopfflanschgeometrie gemäß [1.1.5] sowie die aktualisierte Berechnung in [1.1.2] geprüft. Zusätzlich wird der Lastvergleich [1.1.4], der die Lastschleife LS12+ berücksichtigt, geprüft. Die redaktionelle Anpassungen führen zu in Tabelle 4.1 zitierten Turmkonfigurationen und der Schnittstelle bezüglich der Lastannahmen für die Typenprüfung in Kapitel 5. Beschreibung

3.1 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 [1.2.14] gezeigtem Azimutlager mittels 128 Schrauben M36 verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger wird durch 134 Schrauben M33 hergestellt.

Der Turmkopfflansch soll für die Windenergieanlagen E-115 EP3, E-115 EP3 E3, E-126 EP3 und E-138 EP3 beziehungsweise deren Weiterentwicklungen verwendet werden.

3.2 Lastannahmen

Konfigurationen

Die Turmkopfflanschbaugruppe wurde für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Konfigurationen nachgewiesen; in [1.1.1] für die E-138 EP3 und in [1.1.2] für einhüllende Lasten, die die Anlagen

- E-138 EP3 E2 ([1.2.9]),
- E-115 EP3 ([1.2.11]),
- E-115 EP3 E3 ([1.2.12]) und
- E-126 EP3 ([1.2.13])

abdecken. Die Lasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren. Sie sind in den Lastberichten zum Maschinenbau, die als dazugehörig in Kapitel 1.2 geführt werden, zusammengefasst. Diese Lastberichte verweisen auf die in Tabelle 4.1 genannten Lastberichte der jeweiligen Turmvariante.

Die Windenergieanlage E-138 EP3 hat eine maximale Nennleistung von 3500 kW und verwendet das Rotorblatt E-138 EP3-RB-01, wohingegen die Anlage E-138 EP3 E2 eine maximale Nennleistung von 4200 kW aufweist und das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nutzt.

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Turmvariante	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in
1	E-138 EP3	81 m	E-138 EP3-ST-81-FB-C-01	2	II	[1.2.1], [1.2.3], [1.2.5]
2		111 m	E-138 EP3-ST-111-FB-C-01			
3		131 m	E-138 EP3-ST-131-FB-C-01			
4		131 m	E-138 EP3-HT-131-ES-C-01			
5		131 m	E-138 EP3-HT-131-ES-C-02			
6		160 m	E-138 EP3-HT-160-ES-C-01			
7	E-138 EP3 E2	81 m	E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-01	2	II	[1.2.9], [1.2.10]
8		96 m	E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01			
9		111 m	E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01			
10		131 m	E-138 EP3 E2 HST-131-FB-C-01			
11		131 m	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01			
12		131 m	E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02			
13		131 m	E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-01			
14		131 m	E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-02	S		
15		149 m	E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01, E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02	2		
16		160 m	E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01			

Tabelle 3.1: Lastannahmen

Anmerkungen zu den Lasten für E-138 EP3

Die Auslegungslasten in [1.2.1] sind eine Zusammenfassung der für den Kopfflansch relevanten Lasten aus [1.2.2]. Der zugehörige Lastbericht [1.2.3] ist in [1.2.4] geprüft, ausgenommen ist der Turm E-138 EP3-HAT-160-ES-C-01. Die Lasten in [1.2.2] (somit indirekt die Auslegungslasten in [1.2.1]) werden mit den einhüllenden Lasten ([1.2.3]) aller Konfiguration der Anlage E-138 EP3 in [1.2.7] verglichen. Der Lastvergleich ist in [1.2.8] geprüft.

Der Lastvergleich in [1.1.3] stellt die Lasten der Lastschleife 26+++ ([1.2.5]) den Lasten in [1.2.2] (somit indirekt den Auslegungslasten in [1.2.1]) gegenüber. Die Lasten in [1.2.5] sind in [1.2.6] geprüft und decken alle Konfiguration der Anlage E-138 EP3 gemäß Tabelle 4.1 ab.

Die Auslegungslasten der Kopfflanschbaugruppe in [1.2.1] sind nicht geprüft, jedoch der zugehörige Lastbericht ([1.2.3] und [1.2.5]) zu den maschinenbaulichen Komponenten.

Anmerkungen zu den Lasten für E-138 EP3 E2

Die verwendeten Auslegungslasten ([1.2.9]) sind eine Zusammenfassung der für die Kopfflanschbaugruppe relevanten Lasten, die in [1.2.10] definiert sind.

Der Lastvergleich in [1.1.4] stellt die aktualisierten Lasten in [1.2.10] den für die Auslegung verwendeten Lasten in [1.2.9] gegenüber.

3.3 Baustoffe

Flansch

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

Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager

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

Scheiben: ISO 7089 - 36 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M36 - 10 tZn

Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

Schrauben: DIN 976-1 - M33 x 380 - 10.9 tZn
maximale Vorspannkraft
 $F_{M,max} = 600,1 \text{ kN}$ (E-138 EP3)
 $F_{M,max} = 635,8 \text{ kN}$ (E-138 EP3 E2)
(Drehwinkelverfahren)
Anziehungsfaktor $\alpha_A = 1,0$

Scheiben: ISO 7089 - 33 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M33 - 10 tZn

4 Prüfung

4.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustand der Tragfähigkeit) wurden in der eingereichten statischen Berechnung für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die strukturelle Integrität der Kopfflanschbaugruppe für die Lastschleife 26+++ wird mittels eines Lastvergleichs nachgewiesen.

Der Nachweis der strukturellen Integrität des angepassten Kopfflansches wird durch die aktualisierten Berechnungen in [1.1.2] gezeigt.

Die strukturelle Integrität der Kopfflanschbaugruppe für die Lastschleife 12+ wird mittels des Lastvergleichs in [1.1.4] nachgewiesen.

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] und [1.1.2] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch (Radien und Schweißnaht zur Turmschale) auf ihre Richtigkeit und Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

4.2 Anmerkungen zur Prüfung

Die Lastannahmen, mit den die Kopfflanschgeometrie gemäß [1.1.5], Rev. 1, nachgewiesen wird, sind kleiner als diejenigen der angepassten Geometrie (Rev. 4). Deshalb kann die aktuelle Kopfflanschgeometrie (Rev. 4) für alle Turmvarianten mit der Anlage E-138 EP3 gemäß Tabelle 4.1 verwendet werden.

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

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweißverbindungen wurde mit $\gamma_{Mf} = 1,15$ angesetzt, für die Schraubverbindung $\gamma_{Mf} = 1,265$.

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden von ENERCON GmbH in [1.1.1] und [1.1.2] Übertragungsfunktionen hergeleitet. Der zugrunde liegende Aufbau des Turmkopfes kann [1.1.5], [1.2.14] und [1.2.15] entnommen werden. Für die Anlage E-138 EP3 E2 wird der in [1.2.16] gezeigte Maschinenträger genutzt. Für die Vergleichsrechnung wurde eine minimale Schraubenvorspannkraft $F_{v,min} = 387,6$ kN für die Verbindung von Turmkopf und Azimutlager sowie $F_{v,min} = 445,1$ kN für die Verbindung des Lagers mit dem Maschinenträger angesetzt.

Der Sprödbbruchnachweis gemäß DIN EN 1993-1-10 wird in [1.2.17] für die Windenergieanlage E-126 geführt und ist in [1.2.18] 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 (08.02.2019 und 29.10.2019 und 24.08.2020) versehen. Der Lastvergleich in [1.1.3] ist ausschließlich für die Kopfflanschbaugruppe geprüft, d.h. S. 57-60. Bitte zugehörigen Grüneintrag in [1.1.3] beachten.

4.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

Der Lastvergleich zeigt Lastüberschreitungen, die durch neue Strukturberechnungen bewertet wurden.

The angepasste Kopfflanschgeometrie kann bei allen Konfigurationen gemäß Tabelle 4.1 als auch bei den Anlagen E-115 EP3, E-115 EP3 E3 und E-126 EP3 angewendet werden.

Der Lastvergleich in [1.1.4] zeigt keine Überschreitungen an den auslegungsrelevanten Sensoren.

4.4 Schnittstelle

Turm

5.4.1 Die Auslegungslasten des Turms müssen kleiner oder gleich den Lastannahmen zum Turm sein, die in [1.2.5] beziehungsweise [1.2.10] zitiert werden.

5 Auflagen

- 5.1 Die Streckgrenze des für die Flansche verwendeten Materials muss mindestens dem in Kapitel 4.3 genannten Wert entsprechen. Die Verwendung eines Flansches, der abbrennstumpfstoßgeschweißt wurde, ist an Standorten mit tiefen Temperaturen ($\leq -40^{\circ}\text{C}$) nicht erlaubt.
- 5.2 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 eine zylindrische Turmgeometrie angeschlossen wird.

6 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 Schnittstelle und Auflagen ist die geprüfte Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen geeignet.

Die in [1.1.2] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können zukünftigen Nachweisen zugrunde gelegt werden, wenn Auflage 5.2 erfüllt ist.

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

Prüfer:



Dr.-Ing. C. Fischer

Freigegeben:



Dr.-Ing. T. Rutkowski

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2

- Verkleidungen & Strukturen -

TÜV NORD Bericht Nr.:	8116503696-12 D Rev. 2
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 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	19.11.2019	Erstausgabe	Dr.-Ing. Y. Ou
1	20.03.2020	- Generator Stator Verkleidung hinzugefügt - Lastbericht aktualisiert	C. Burges
2	27.11.2020	- ER Design Basis aktualisiert - Dokument zur Maschinenhausverkleidung aktualisiert - Turmbezeichnung WEA Variante 2 korrigiert - WEA Varianten 9-11 hinzugefügt	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
1.3	Lastannahmen	5
1.4	Zugehörige Prüfberichte.....	6
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einleitung	7
4	Beschreibung der Windenergieanlagen	7
4.1	Anlagenkonzept	7
4.2	Umgebungsbedingungen	7
4.3	Geprüfte Verkleidungen und Strukturen	7
4.3.1	Maschinenhausverkleidung.....	7
4.3.2	Generatorverkleidung.....	8
4.3.3	Gondelbühne	9
4.3.4	Dachmodul.....	9
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	10
5	Durchgeführte Prüfungen.....	11
5.1	Prüfmethoden.....	11
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen	11
5.3	Hinweise und Annahmen	11
5.4	Prüfergebnis.....	12
6	Bedingungen.....	12
7	Schlussfolgerungen	13

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.: D0860931-0a

Rev. 0a, vom 14.05.2020

Generatorverkleidung

[1.1.2] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Generatorverkleidung, Statischer Nachweis

Dokument Nr.: D0872400-0

Rev. 0, vom 18.09.2019

[1.1.3] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2, Generatorverkleidung, Statischer Nachweis

Dokument Nr.: D0852098-0

Rev. 0, vom 25.07.2019

[1.1.4] ENERCON GmbH:

"Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 Generatorverkleidung Containerfähig - Statischer Nachweis"

Dokument Nr.: D0902975-0b

Rev. 0b, vom 16.03.2020

Gondelbühne

[1.1.5] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Gondelbühne, Statik

Dokument Nr.: D0856173-0

Rev. 0, vom 23.08.2019

Dachmodul

[1.1.6] ENERCON GmbH:

Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON EP3 Plattform (E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3 & E-138 EP3 E2), Dachmodul, Statik

Dokument Nr.: D0850499-0

Rev. 0, vom 22.08.2019

Anschlagpunkte

- [1.1.7] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Anschlagpunkte Gondelbühne, Statik
Dokument Nr.: D0862347-0
Rev. 0, vom 23.08.2019

Lastvergleich

- [1.1.8] ENERCON GmbH:
ENERCON Wind Energy Converter E-115 EP3 E2 - Load comparison for
Statics and Fatigue - Load loop8+ Japan
Dokument Nr.: D0992967-0
Rev. 0, vom 07.08.2020
- [1.1.9] ENERCON GmbH:
ENERCON Wind Energy Converter E -138 EP3 E2 - Load comparison for
Statics and Fatigue - Load loop 12+
Dokument Nr.: D0996749-0, Rev. 0, vom 20.08.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis
"Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3"
Dokument Nr.: D0832892-1
Rev. 1, vom 04.11.2019
- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Design Basis
"Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2"
Dokument Nr.: D0765798-1a
Rev. 1a, vom 12.09 2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Design Basis
"Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen"
Dokument Nr.: D0666243-3
Rev. 3, dated 2018-07-30

Materialspezifikationen

- [1.2.4] ENERCON GmbH:
Spezifikation Materialdaten für GFK Verkleidungskomponenten
Dokument Nr.: D0689349-3
Rev. 3, vom 15.08.2019

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
Spezifikation für glasfaserverstärkte Verkleidungen von ENERCON WEA
Dokument Nr.: D0687898-3
Rev. 3, vom 05.08.2019

Anschlagpunkte

- [1.2.6] ENERCON GmbH:
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung, Statischer
Nachweis
Dokument Nr.: D0448398-1
Rev. 1, vom 10.12.2016

Stellungnahmen

- [1.2.7] ENERCON GmbH:
Stellungnahme Abteilung Lastensimulation - Frequenzvergleich
Dokument Nr.: D0871819-1a
Rev. 1a, vom 07.11.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
Frequenzvergleich; E-138 EP3 E2 HT-149-ES-C-01 mit E138 EP3 E2 HT-149-
ES-C-02
Dokument Nr.: D0871492
Rev. 0, vom 17.09.2019

1.3 Lastannahmen

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115
EP3-RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8116503696-1 D III
Rev. 2, vom 20.07.2020
- [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. 2, vom 23.11.2020

1.4 Zugehörige Prüfberichte

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report – Wind Turbines ENERCON E-115 EP3 E3, IEC 61400-22 -
Design Basis -
Bericht Nr.: 8116503696-0 E
Rev. 1, vom 25.08.2020
- [1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report – Wind Turbines ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE OD 501,
IEC 61400-22 - Design Basis -
Bericht Nr.: 8117142915-0 E
Rev. 0, vom 12.09.2019
- [1.4.3] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:
Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines,
IEC 61400-22 - Design Basis for Cold Climate conditions -
Bericht Nr.: 8115 599 054-0 E
Rev. 0, vom 09.08.2018

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):
Richtlinie für Windenergieanlagen
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen
(IEC 61400-1:2005 + A1:2010)
Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010
- [2.3] DIN EN 61400-22:2011
Windenergieanlagen - Teil 22:
Konformitätsprüfung und Zertifizierung (IEC 61400-22:2010)
Deutsche Fassung EN 61400-22:2011
- [2.4] Germanischer Lloyd:
Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen
IV – Teil 1, Ausgabe 2010
- [2.5] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.:
Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion,
Betrieb und Wartung
Deutsche Fassung EN 50308:2004 + DIN EN 50308 Berichtigung 1:2008
alt. VDE 0127-100 + VDE 0127-100 Berichtigung:2011

3 Einleitung

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

4 Beschreibung der Windenergieanlagen

4.1 Anlagenkonzept

Die technischen Spezifikationen der Windenergieanlagen sind den Dokumenten [1.2.1] - [1.2.3] zu entnehmen. Prüfergebnisse und Anmerkungen zur Spezifikation sind in den Berichten [1.4.1] - [1.4.3] dokumentiert.

4.2 Umgebungsbedingungen

Die Verkleidungen und Strukturen wurden für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Normales und kaltes Klima	-40 °C < t < +40 °C	-40 °C < t < +50 °C

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

4.3 Geprüfte Verkleidungen und Strukturen

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

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

4.3.1 Maschinenhausverkleidung

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
 Typ: GFK-Struktur
 Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
 Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860520-0, Rev. 0, vom 24.10.2019
 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]
 Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0858989-1, Rev. 1, vom 07.11.2019
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 3-9 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2 Generatorverkleidung

4.3.2.1 Komponentenspezifikation (Rotor & Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860520-0, Rev. 0, vom 24.10.2019
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.2]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.2 Komponentenspezifikation (Rotor & Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Hauptzeichnung Nr.: D0858989-1, Rev. 1, vom 07.11.2019
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.3]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 54.54 m/s (diese entspricht $V_{ref}=38.96$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 3-9 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.3 Komponentenspezifikation (Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0938784-0, Rev. 0, vom 17.03.2020
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3 Gondelbühne

4.3.3.1 Komponentenspezifikation E-115 EP3 E3

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR / S355JR
Zeichnungsübersicht:	Dok.-Nr. D0860518-0, Rev. 0, vom 20.08.2019 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]
Hinweis:	Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit $V_{e50}=70$ m/s in Nabenhöhe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3.2 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR / S355JR
Zeichnungsübersicht:	Dok.-Nr. D0858516-0, Rev. 0, vom 28.08.2019 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]
Hinweis:	Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit $V_{e50}=70$ m/s in Nabenhöhe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 3-9 (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. 1-11 (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-01)	WZ 4, GK I&II	43.33 m/s	[1.3.1]
3	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01)	WZ S, GK II	36.69 m/s	[1.3.2]
4	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01)	WZ 2, GK II	38.52 m/s	[1.3.2]
5	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02)	WZ 2, GK II	38.52 m/s	-
6	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01)	WZ S, GK II	37.69 m/s	[1.3.2]
7	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02)	WZ S, GK II	37.69 m/s	[1.3.2]
8	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01)	WZ 2, GK II	38.96 m/s	[1.3.2]
9	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01)	WZ 2, GK II	37.69 m/s	[1.3.2]
10	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	NH 122 m (E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01)	WZ 3, GK I&II	42.77 m/s	[1.3.1]
11	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	NH 149 m (E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01)	WZ S, GK I&II	43.85 m/s	[1.3.1]

*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.

Der Sachverständige:



M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:



Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. C. Burges