

Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen

ENERCON

E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01

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

Rev. 1

1. Prüfbescheid zur Typenprüfung	3443492-3-d Rev. 1 vom
26.01.2022	
2. Hybridturm	3443492-1-d Rev. 0 vom 13.10.2021
2.1. Übersichtsplan Gesamtturm	D02405551-4
2.2. Übersichtsplan Stahlturm	D02405556-1
3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m	3443492-20 Rev. 1 vom
13.12.2021	
3.1. Fundamentdatenblatt	21683-E21/a
3.2. Schalplan	D02405554-0
3.3. Bewehrungsplan	D02405555-1
4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m	3443492-5-d Rev. 0 vom
26.01.2022	
4.1. Fundamentdatenblatt	D02567170-0
4.2. Schalplan	D02456047-0
4.3. Bewehrungsplan 1	D02456040-1
4.4. Bewehrungsplan 2	D02456043-1
4.5. Bewehrungsplan 3	D02456046-1
5. Gutachterliche Stellungnahmen	8119616205 D Rev. 0 vom
30.11.2021	
5.1. Lastannahmen für Turm und Fundament	8119201822-1 D I Rev. 1 vom 05.10.2021
5.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau	8119201822-1 D IV Rev. 0 vom 29.10.2021
5.3. Sicherheitssystem und Handbücher	8119201822-2 D Rev. 0 vom 26.11.2021
5.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz	8114242475-5 D Rev. 6 vom 25.11.2021

5.5. Rotorblatt

8118796497-3 D Rev. 4 vom 01.11.2021

5.6. Maschinenbauliche Komponenten

8119201822-4 D Rev. 0 vom 26.11.2021

5.7. Verkleidung und Strukturen

8119201822-12 D Rev. 0 vom 26.11.2021

5.8. Turmkopfflansch

8119616205-11 D Rev. 1 vom 29.11.2021

6. Revisionstabelle

Datum	Änderung
20.12.2021 Rev. 0	Dokument erstellt 1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 0 vom 15.12.2021 2. Hybridturm 3443492-1-d Rev. 0 vom 13.10.2021 2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02405551-4 2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02405556-1 3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 1 vom 13.12.2021 3.1. Fundamentdatenblatt 21683-E21/a 3.2. Schalplan D02405554-0 3.3. Bewehrungsplan D02405555-1 4. Gutachterliche Stellungnahmen 8119616205 D Rev. 0 vom 30.11.2021 4.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8119201822-1 D I Rev. 1 vom 05.10.2021 4.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8119201822-1 D IV Rev. 0 vom 29.10.2021 4.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 0 vom 26.11.2021 4.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8114242475-5 D Rev. 6 vom 25.11.2021 4.5. Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 4 vom 01.11.2021 4.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-4 D Rev. 0 vom 26.11.2021 4.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-12 D Rev. 0 vom 26.11.2021 4.8. Turmkopfflansch 8119616205-11 D Rev. 1 vom 29.11.2021
09.02.2022 Rev. 1	1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 1 vom 26.01.2022 2. Hybridturm 3443492-1-d Rev. 0 vom 13.10.2021 3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 1 vom 13.12.2021 4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 0 vom 26.01.2022 4.1. Fundamentdatenblatt D02567170-0 4.2. Schalplan D02456047-0 4.3. Bewehrungsplan 1 D02456040-1 4.4. Bewehrungsplan 2 D02456043-1 4.5. Bewehrungsplan 3 D02456046-1 5. Gutachterliche Stellungnahmen 8119616205 D Rev. 0 vom 30.11.2021



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 26.01.2022

Prüfnummer: 3443492-3-d Rev. 1

Objekt: Turm und Fundamente – Hybridturm
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3
Rotorblatt Typ LM 78.3 P
Nabenhöhe 166,7 m
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

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

**Hersteller und
Konstruktion Turm
und Fundament:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Gültig bis: 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:
3443492-3-d_Rev.
1_ENERCON_E-160 EP5 E3-
HT-166-ES-C-01_TPB.docx

Das Dokument besteht aus
7 Seiten.
Seite 1 von 7

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

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	15.12.2021	Erstfassung
1	26.01.2022	Aufnahme Tiefgründung [3].

Inhaltsverzeichnis

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



1. Allgemeine Bestimmungen

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

Die Typenprüfung bestätigt die Prüfung der Standsicherheit des gelisteten Turmes und der Gründungen.

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

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

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

2. Anlagenbeschreibung

Die hier behandelte Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-160 EP5 E3 mit 166,7 m Nabenhöhe besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor mit einer getriebelosen Generatoreinheit.

Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und variabler Rotordrehzahl geregelt.

Umgebungsbedingungen und Daten der Maschine gemäß Herstellerangaben:

Nennleistung	5,5 MW
Windzone	S
Geländekategorie	S
Erdbebenzone nach DIN 4149	0
Nabenhöhe	166,7 m
Rotorblatttyp	LM 78.3 P
Rotordrehzahlbereich (Produktionsbetrieb)	2,6 - 10,79 U/min
Nennwindgeschwindigkeit, V_r (1 Sekunden Mittelwert)	12 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	28 m/s
Einschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)	2,5 m/s
Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (1 Jahres Mittelwert)	7,5 m/s (für 20 Jahre) 8,5 m/s (für 25 Jahre)
Extremer 50-Jahres-Wind, V_{ref} (10 Minuten Mittelwert)	37,5 m/s
Turbulenzkategorie	A (für 20 Jahre) B (für 25 Jahre)
Lebensdauer*	20 Jahre bzw. 25 Jahre

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

Tabelle 1



Industrie Service

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

Nabenhöhe	166,7 m
Turmkonstruktion	Hybridturm 0
Fundamente	Flachgründung mit Auftrieb [2]
	Tiefgründung mit Auftrieb [3]

Tabelle 2

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

3. Prüfgrundlage

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Version 2012, korrigierte Fassung März 2015
- /2/ DIN EN IEC 61400-1:2019 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019“
- /3/ EN IEC 61400-1:2019 „Wind turbines – Part 1: Design requirements“
- /4/ “Stellungnahme DIBt / IEC 61400-1 Ed. 4”, erstellt von DKE, vom 31.08.2020

Nach der Anerkennungsnotiz im Vorwort von /2/ entspricht die Norm /2/ inhaltlich /3/. Entsprechend kann in den in Abschnitt 5 gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen gleichwertig /2/ oder /3/ als Prüfgrundlage verwendet werden.

In der DIBt-Richtlinie /1/ sind die älteren Versionen von /2/ aus den Jahren 2004 bzw. 2011 für die Ermittlung der Einwirkungen zugelassen. Mit diesem Prüfbescheid und gemäß Stellungnahme des DKE/AK 383.0.1 /4/ wird bestätigt, dass auch bei Anwendung der neuesten Version der DIN EN IEC 61400-1 in ihrer Gesamtheit das geforderte Sicherheitsniveau der DIBt-Richtlinie /1/ eingehalten wird und somit Konformität mit /1/ besteht.

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

4. Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung

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

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

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

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



Industrie Service

- [1] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01, Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3, 166 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten, Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 0, Datum 2021-10-13
- [2] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21), Fundament: FlmA Ø = 24,00 m, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 7 Seiten, Dokument Nr. 3443492-20, Rev. 1, Datum 2021-12-13
- [3] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Tiefgründung, Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21), Fundament: TgmA Ø = 23,00 m, Windzone S, 54 Fertigteilrammpfähle 45/45 cm, 54 Ort betonrammpfähle Ø 51 cm, 44 Ort betonrammpfähle Ø 56 cm, 22 Bohrpfähle Ø 100 cm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 9 Seiten, Dokument Nr. 3443492-5-d, Rev. 0, Datum 2022-01-26

5. Gutachtliche Stellungnahmen

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

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

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [4] „Gutachtliche Stellungnahme –Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten, Dokument Nr. 8119201822-1 D I, Rev. 1, Datum 2021-10-05

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

- [5] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 5 Seiten, Dokument Nr. 8119 616 205 D, Rev. 0, Datum 2021-11-30

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

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



Industrie Service

6. Zusammenfassung

Die eingereichten gutachtlichen Stellungnahmen und Prüfberichte für den Turm und die zugehörigen Gründungen der Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-160 EP5 E3 entsprechen den Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/.

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

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

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

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

Der Bearbeiter

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

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



Industrie Service

Anlage 1:

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

[1]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 25
[2]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 10
[3]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 13
[4]	Kapitel 6, Auflagen 6.1 und 6.2
[5]	Alle in den in [5] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Prüfbemerkungen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 13.10.2021

Prüfnummer: 3443492-1-d

Objekt: Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3
166 m Nabenhöhe
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller Wind-
energieanlage:** ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

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

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

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

Gültig bis: 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:
3443492-1-d_ENERCON_E-160
EP5 E3-HT-166-ES-C-01.docx

Das Dokument besteht aus
14 Seiten.
Seite 1 von 14

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

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.10.2021	Erstfassung

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	5
3.	Beschreibung	6
3.1.	Maße:.....	6
3.2.	Baustoffe:.....	7
3.3.	Lastannahmen:	7
4.	Prüfumfang	8
5.	Prüfbemerkungen.....	8
6.	Prüfergebnis.....	10
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne	14



1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente, alle von Max Bögl Wind AG erstellt, wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] "Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm", 698 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2021-10-07
ENERCON Dokument Nr. D02405544-2
- [2] "Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm E21", 12 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, Datum 2021-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405547-0
- [3] "Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm E21", 16 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, Datum 2021-10-06
ENERCON Dokument Nr. D02405545-1
- [4] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm E21", 25 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, Datum 2021-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405548-0
- [5] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E21“, 71 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, Datum 2021-10-06
ENERCON Dokument Nr. D02405546-1
- [6] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Stahlturm“, 78 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, Datum 2021-09-09
ENERCON Dokument Nr. D02405550-1
- [7] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1

1.2. Eingesehene Unterlagen

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

Lasten:

- [8] "Load Report Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with rotor blade LM783P_2P as per DIBt", erstellt von ENERCON GmbH, 25 Seiten, Dokument Nr. D02406103-4.0, Rev. 4, Datum 2021-10-01
- [9] "Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten, Dokument Nr. 8119201822-1 DI, Rev. 1, Datum 2021-10-05

Betonturm:

- [10] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", 8 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [11] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 47 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. h, Datum 2021-02-02



Industrie Service

- [12] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 7 Seiten,
Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 1, Datum 2020-07-02
- [13] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“,
erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten,
Zulassungs-nr. Z-13.3-141, vom 16.04.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [14] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht
Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 19 Seiten,
Zulassungs-nr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [15] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht
Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 18 Seiten,
Zulassungs-nr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [16] European Technical Assessment „SUSPA – Wire EX, External post-tensioning kit for
prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom
Österreichischen Institut für Bautechnik, 46 Seiten,
Dokument Nr. ETA-07/0186, vom 16.11.2020
- [17] European Technical Assessment „Wire EX Wind, External post-tensioning kit for
prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom
Österreichischen Institut für Bautechnik, 46 Seiten,
Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020
- [18] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“,
erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten,
Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [19] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl
B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm“,
erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 8 Seiten,
Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [20] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spannglied-
verankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten,
Dokument Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [21] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spann-
gliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung
von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“,
erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 9 Seiten,
Dokument Nr. 8118409048-6 D, Rev. 0, vom 2021-03-05
- [22] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer
Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-
Ing. Peter Schaumann, 8 Seiten,
keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15

Stahlturn:

- [23] Zeichnung „Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“, erstellt von ENERCON GmbH,
1 Blatt,
Zeichnung Nr. D02133917/0.1-de/en, Revision -, Datum 2021-02-05



- [24] "Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen", erstellt von Max Bögl Wind AG, 18 Seiten, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [25] "Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Stahlrohrturm Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 5 Seiten, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 1, Datum 2020-03-20

2. Prüfgrundlage

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“ mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1991-1-4:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-4/NA:2010
- /4/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009“ + DIN EN 1993-1-1/A1:2014, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015
- /6/ DIN EN 1993-1-6:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010
- /7/ DIN EN 1993-1-8:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010
- /8/ DIN EN 1993-1-9:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-9/NA:2010
- /9/ DIN EN 1993-1-10:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-10/NA:2010
- /10/ DIN EN 1090-2:2011 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011“



- /11/ DIN EN 14399-4:2015 „Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015“
- /12/ DASt – Richtlinie 021:2013 “Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“
- /13/ DIN EN ISO 898-1:2013 „Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl – Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2013“
- /14/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /15/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600: „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

3. Beschreibung

Der Turm E21 der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 30 Segmenten und einem einteiligen Adapterring, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen Betonfertigteilelemente haben einen kreisringförmigen Querschnitt und werden aus Drittelschalen zusammengesetzt. Die horizontalen Fugen zwischen den Betonfertigteilen werden planmäßig trocken ausgeführt. Die Fuge am Turmfuß wird mit Verguss hergestellt. Die vertikalen Fugen der Teilsegmente werden trocken ohne Verbund ausgeführt. Am oberen Ende der Vertikalfuge befindet sich eine Kontaktfläche zur Übertragung von Druckkräften, oben und unten werden Schraubelemente angeordnet.

Der Betonschaft wird mit externen, im Inneren des Turms liegenden Spanngliedern vorgespannt. Die Spannglieder laufen vom obersten Segment des Betonturms bis zur Verankerung im Fundament, die als Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatte ausgeführt ist.

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

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

3.1. Maße:

Nabenhöhe:	166,6 m
Gesamtlänge Turm:	162,45 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	8,728 m
Außendurchmesser Turmkopfflansch:	4,036 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [7] entnommen werden.

3.2. Baustoffe:

Betonfertigteile	C100/115 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [18] C90/105 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [18] C80/95 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [18] Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [18] eingesetzt
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [19]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [13] und [14] in Verbindung mit [16] bzw. [15] in Verbindung mit [17]
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014
Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /11/ M42-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /12/
Gewindebolzen (Adapter)	M56-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /13/
Ankerring (Adapter)	S355J2 gemäß DIN EN 10025
Lastverteilplatte (Adapter)	S355J2 gemäß DIN EN 10025

3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Prüfung des Turms der oben genannten Windenergieanlage sind in [8] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [9] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Grundlage der Berechnung war Rev. 0 von [8]. In [9] wird aufgezeigt, dass keine Änderungen der ULS Lasten und Markov Matrizen zwischen Rev. 0 und 4.0 vorhanden sind. Daher ist die Bemessung des Turmes auf Basis der Lasten aus Rev. 0 auch für die Lasten in [8] gültig. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt gemäß [9] abhängig von den Umgebungsbedingungen 20 Jahre ($I_{ref} = 0,16$ und $V_{ave} = 7,5$ m/s) oder 25 Jahre ($I_{ref} = 0,14$ und $V_{ave} = 8,5$ m/s).

Einwirkungen aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.

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

Turmkopfmasse: 330 t

4. Prüfumfang

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

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

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

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

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

5. Prüfbemerkungen

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

Schnittstellen:

Die Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich, des Radius und der Schraubverbindung zur Maschine sind nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes und ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen, siehe Auflage 13. Der Flansch ist in Zeichnung [23] dargestellt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung im Fundament wurden in Dokument [20] geführt und mit [21] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [20] für den vorliegenden Turm gültig sind.

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

Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [9] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,168 Hz bis 0,197 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$ betragen.

Die Eigenfrequenz liegt im Bereich der möglichen Erregerfrequenzen der Anlage. Daher ist eine betriebliche Schwingungsüberwachung vorzusehen, die mit dem Betriebs- und Sicherheitssystem der Anlage verbunden ist, siehe Auflage 2.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [8] enthalten lediglich Effekte aus Theorie II. Ordnung. Zusätzliche Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m, sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von $k_{\phi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$ wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von /1/ wurden für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. In Dokument [10] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [10] und der rechnerischen Berücksichtigung der einseitigen Sonneneinstrahlung in [1] kann diese Abweichung akzeptiert werden.

Bauzustände, Querschwingungen:

Die Standsicherheit des Turms vor dem Vorspannen der Spannglieder wurde in [5] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [5] geführt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit	
Betonturm ohne Vorspannung	-	-
Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	1 Jahr	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 18,68 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	60 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 13,26 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion	6 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 10,97 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	6 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 7,85 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor	60 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 3,93 m/s nicht überschreiten
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	456 Tage über die Lebensdauer	

Kerbfallklassen:

Für die Berechnung des Turms in [6] wurden für die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) die Kerbfallklassen gemäß [24] und [25] angesetzt. Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfallklassen sind auf der Turmzeichnung [7] ([A9]) definiert und werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Ermüdung:

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter der Betonfertigteilesegmente zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 28 Tagen und das Alter des Adapters mit 40 Tagen angesetzt.

Der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ wurde abweichend von /4/ und auch abweichend von der abZ [18] mit einem Versprödungsfaktor von 1,0 angesetzt. Dieser Rechenwert ist durch eine Aktualisierung der abZ [18] oder durch einen entsprechenden bautechnischen Nachweis (Typengenehmigung) zu bestätigen, andernfalls sind neue Nachweise zur Ermüdung vorzulegen.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [19] angesetzt.

Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [6] für eine Bezugstemperatur $T = -30^{\circ}\text{C}$ durchgeführt.

Betondeckung

In Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, NDP zu 4.4.1.3 (3) wurde das Vorhaltemaß der Betondeckung um 5 mm abgemindert.

Teilsicherheitsbeiwert Betonfestigkeit

Für die Nachweise der Betonfertigteile wurde in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, Abschnitt A.2.3 ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{c,red} = 1,35$ angesetzt.

Ausführungsvarianten:

Bezüglich der Ankerschrauben im Adapterelement sind 2 Varianten möglich:

- a) Mit Decordynbeschichtung gemäß [A7]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A8]

Das angegebene Vorspannsystem Suspa Draht EX kann entweder nach ETA [16] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [14] oder alternativ nach ETA [17] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [15] angewandt werden. Beide Systeme sind technisch gleichwertig. Die Anwendungszulassungen für das Spannsystem gelten jeweils in Verbindung mit der allgemeinen Bauartgenehmigung [13].

Änderungen Einbauteile:

Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten im Betonteil haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Turmes.

6. Prüfergebnis

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

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



Der Turm der Windenergieanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [8] geeignet.

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

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [8] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
2. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss, auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen im Lastdokument [8] zu begrenzen.
3. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
4. Es ist für jede Anlage sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten wird.
5. Bauzustände und Stillstandszeiten der Anlage sind gemäß den Angaben in Abschnitt 5 zeitlich zu beschränken. Falls die zulässigen Zeiten überschritten werden oder die Gondel zu einem späteren Zeitpunkt vom Turm genommen wird, so sind geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.

Stahlsektionen

6. Der Korrosionsschutz der Turmaußenseite (Turminnenseite) ist für eine Korrosivitätskategorie C4 (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Industrienähe mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre oder Meeresnähe mit hoher Salzbelastung ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie C5 erforderlich. Für die Schutzdauer ist die Klasse „hoch“ gemäß DIN EN ISO 12944-5 anzusetzen, dies entspricht einer angestrebten Zeitspanne von mindestens 15 Jahren bis zur ersten planmäßigen Instandsetzungsmaßnahme aus Korrosionsschutzgründen.
7. Sämtliche in Dickenrichtung belasteten Bauteile (z.B. Flansche und Zargen) müssen hinsichtlich der Dopplungsfreiheit nach EN 10160, Qualitätsklasse S1 und E1, oder einem äquivalenten Standard ultraschallgeprüft sein.
8. Der Stahlrohrturm darf nur von Herstellern mit einer Qualifizierung gemäß DIN EN 1090-1 für mindestens Ausführungsklasse EXC3 gefertigt werden.
9. Die Fertigung des Stahlrohrturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.
10. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeinrichtungen) müssen mindestens den auf der Zeichnung [7] [A9] angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
11. Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches dürfen keine zusätzlichen Teile angeschweißt werden.
12. Beim Anschweißen der Flansche an die Turmwand ist fachgerecht vorzuwärmen.



13. Die Prüfung der Schweißverbindung im Einflussbereich des Turmkopfflansches, seines Radius und der Schraubverbindung (Turm zur Maschine) sind in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

Betonteil

14. Infolge der Reduzierung des Vorhaltemaßes der Betondeckung der Fertigteilsegmente ist eine erhöhte Qualitätskontrolle gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 4.4.1.3 (3) bei der Herstellung erforderlich.
15. Aufgrund der Reduktion des Teilsicherheitsbeiwerts des Betons auf $\gamma_{c, red} = 1,35$ sind gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/, A.2.3 Maßnahmen zur erhöhten Qualitätssicherung erforderlich. Die Maßnahmen sind vom Hersteller in Abstimmung mit der zuständigen Überwachungsstelle festzulegen und zu dokumentieren.
16. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [13] bis [17] sowie für die Hochfestbetone [18] und geschweißten Bewehrungselemente [19] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
17. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version aller zitierten Zulassungen [13] bis [19] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
18. Die gewählten Ansätze für die Ermüdungsfestigkeit des Betons sind mit einer aktualisierten abZ [18] zu bestätigen. Die aktualisierte abZ [18] oder ein entsprechender Anwendbarkeitsnachweis ist unaufgefordert vorzulegen und muss vor Inbetriebnahme des ersten Turms der hier genannten Anlage vorliegen.
19. Die erforderliche Mindestfestigkeit des Vergussmörtels von $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ zum Zeitpunkt des Vorspannens des Betonsturms ist fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
20. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [2] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
21. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Es ist bei beiden Vorspannstufen eine Qualitätskontrolle des Anziehvorgangs nach DIN EN 1090-2 /10/, 12.5.2 durchzuführen, um eine stichprobenartige Überprüfung des erzielten Vorspannniveaus sicherzustellen.
22. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung muss der Adapter mindestens 40 Tage alt sein.
23. Der rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons im Adapter zwischen 45.000 N/mm^2 und 53.000 N/mm^2 ist sicherzustellen.

Prüfintervalle

24. Die planmäßige Vorspannung der Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt-Richtlinie /1/ (Abschnitt 13.1 Anmerkung 1) erneut zu kontrollieren und ggf. nachzuspannen. Wenn die 2. Vorspannstufe innerhalb dieses Zeitraums aufgebracht wird, kann die zuvor genannte Prüfung hierdurch ersetzt werden.
25. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß der DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.



Industrie Service

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

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

Der Bearbeiter

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

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



Industrie Service

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

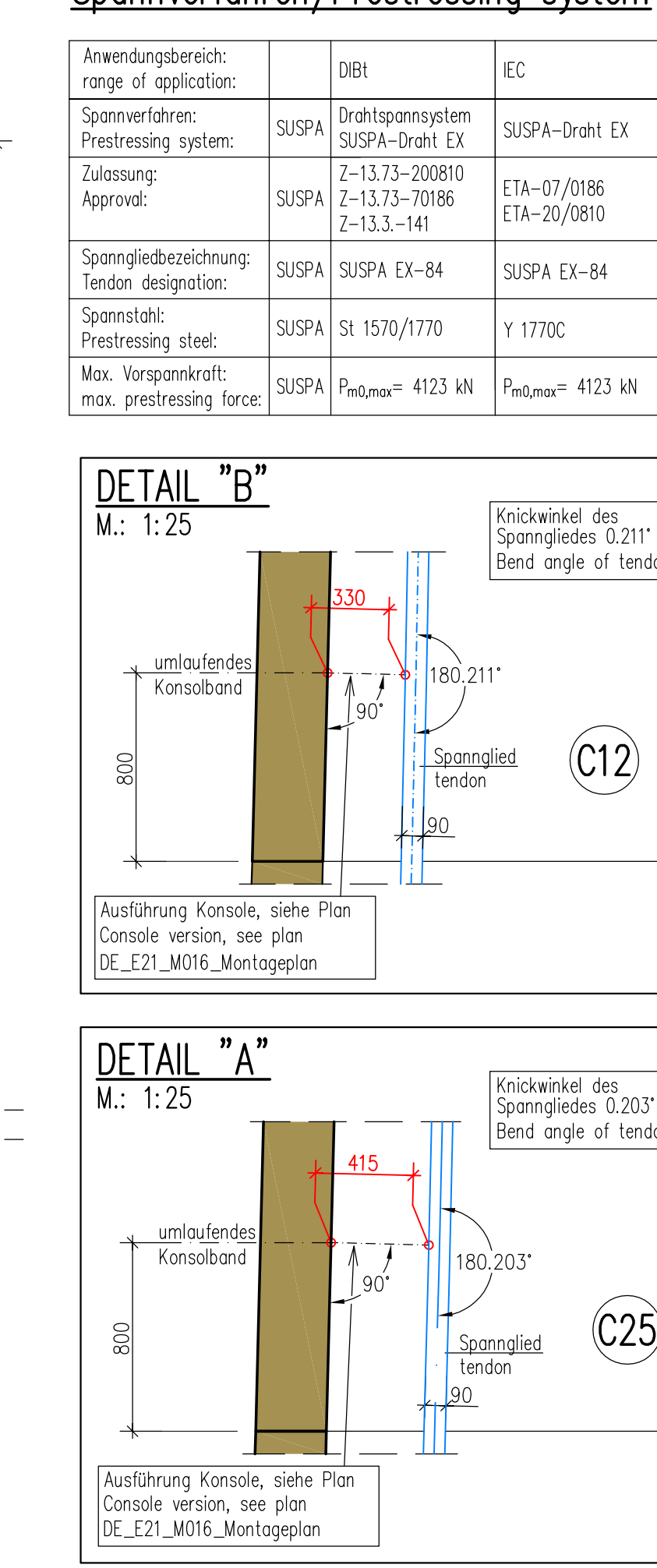
Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E21-001-XX-X- Uebersicht	D02405551-4	d	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 166,6 m, Spannglieds. „SUSPA“	2021-10-11
[A2]	DE-E21-095-XX-X- Schalplan	D02405558-0	0	Schalplan Rohteile C-Ringe	2021-07-05
[A3]	DE-E21-096-XX-X- Bewehrung	D02405559-2	b	Bewehrungsplan Rohteile C- Ringe (3-teilig)	2021-10-07
[A4]	DE-E21-AE1-K1-X- Bewehrung	D02405560-0	0	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2021-07-06
[A5]	DE-E21-AE1-K1-X- Schalplan	D02405561-1	a	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2021-10-04
[A6]	DE-E21-M008 Montageplan	D02405562-0	0	Fugendetailplan	2021-07-06
[A7]	XX-XXX-M56-HV-1- Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Ueber- gangsstueck mit Decordynbe- schichtung T0150831	2021-01-25
[A8]	XX-XXX-M56-HV-2- Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Ueber- gangsstueck mit Schrumpf- schlauch T0150831	2021-01-25

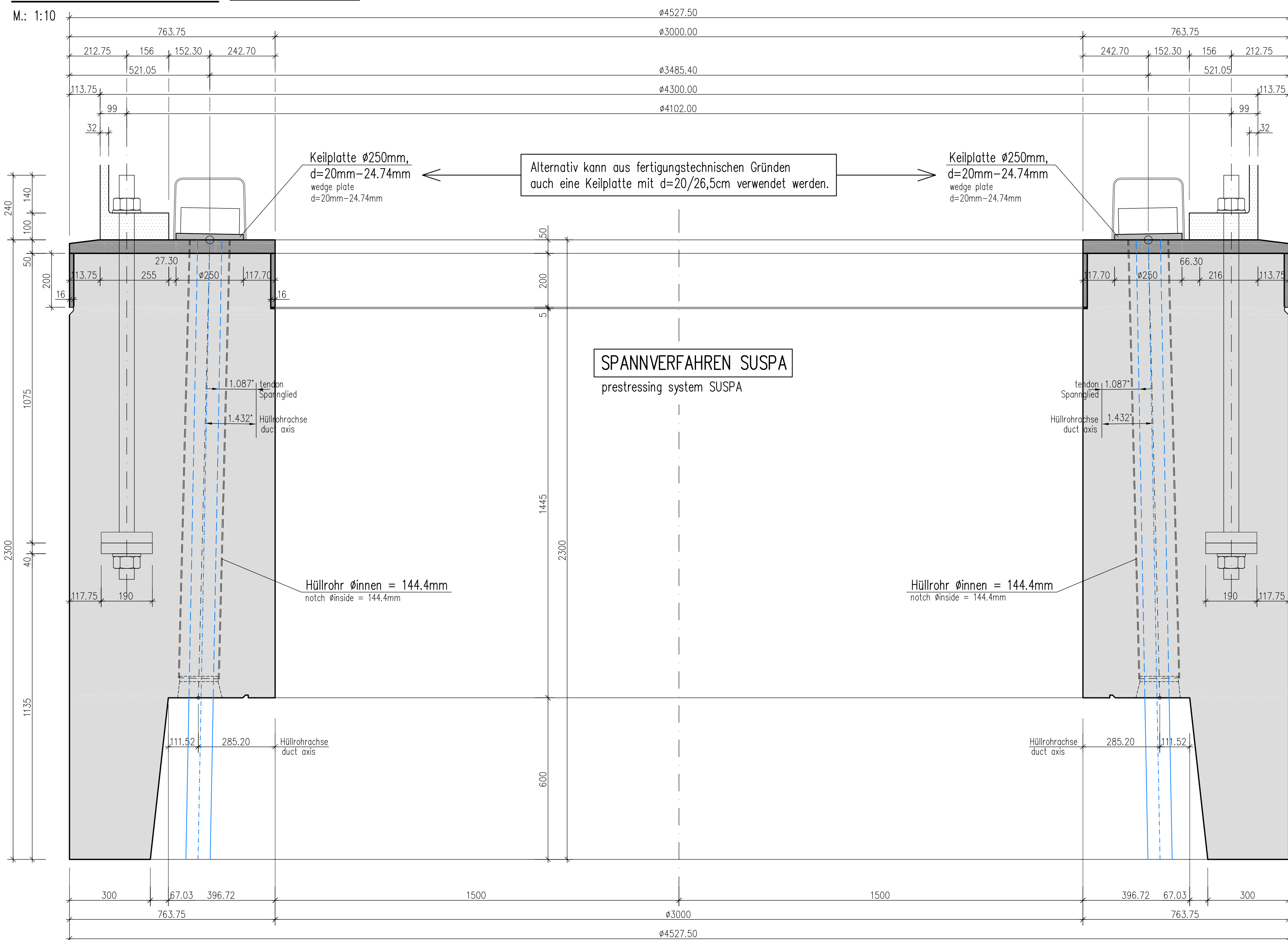
Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A9]	DE-E21-022-XX-X- Uebersicht	D02405556-1	a	Übersichtsplan Stahlturm 166m NH	2021-09-20

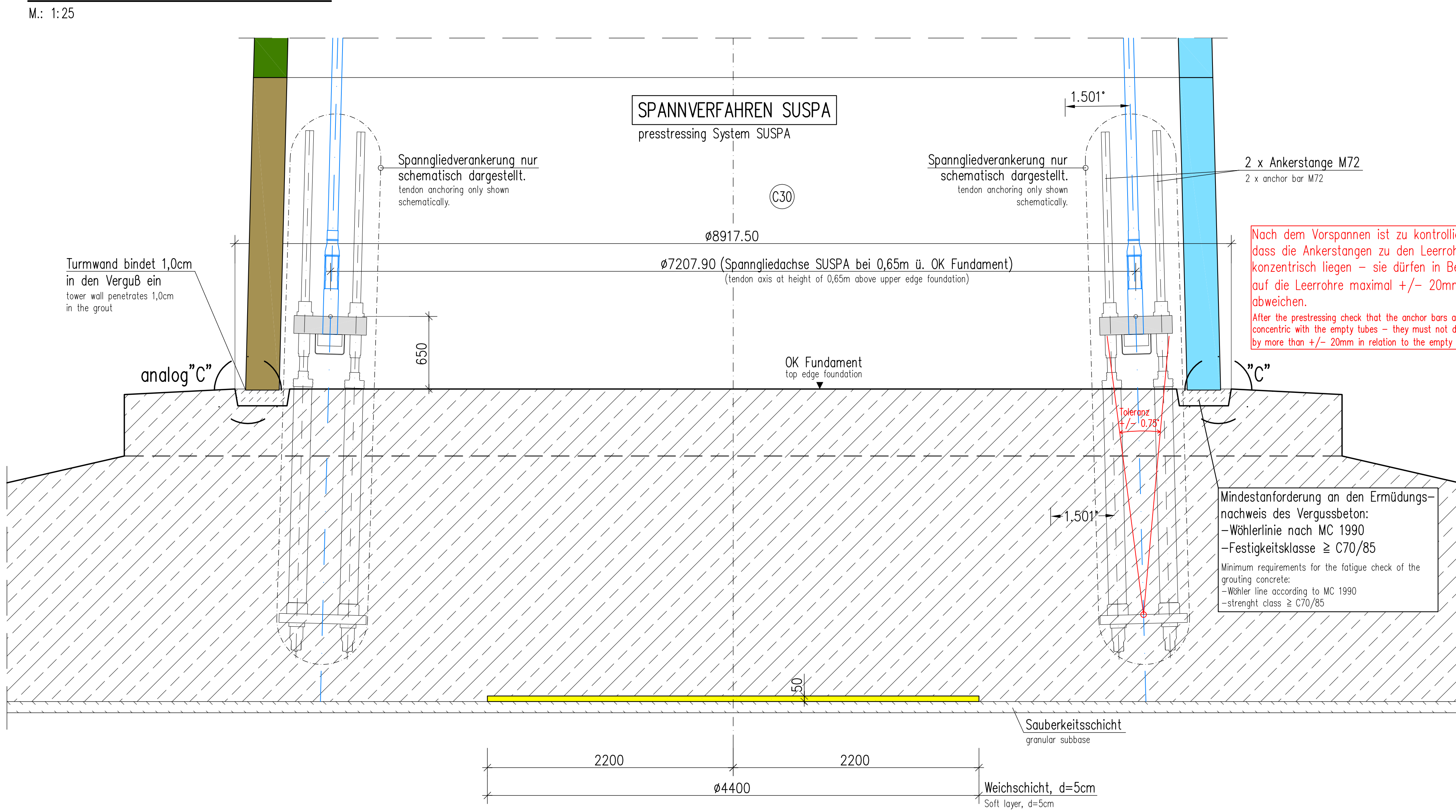
M.: 1:200
+166600



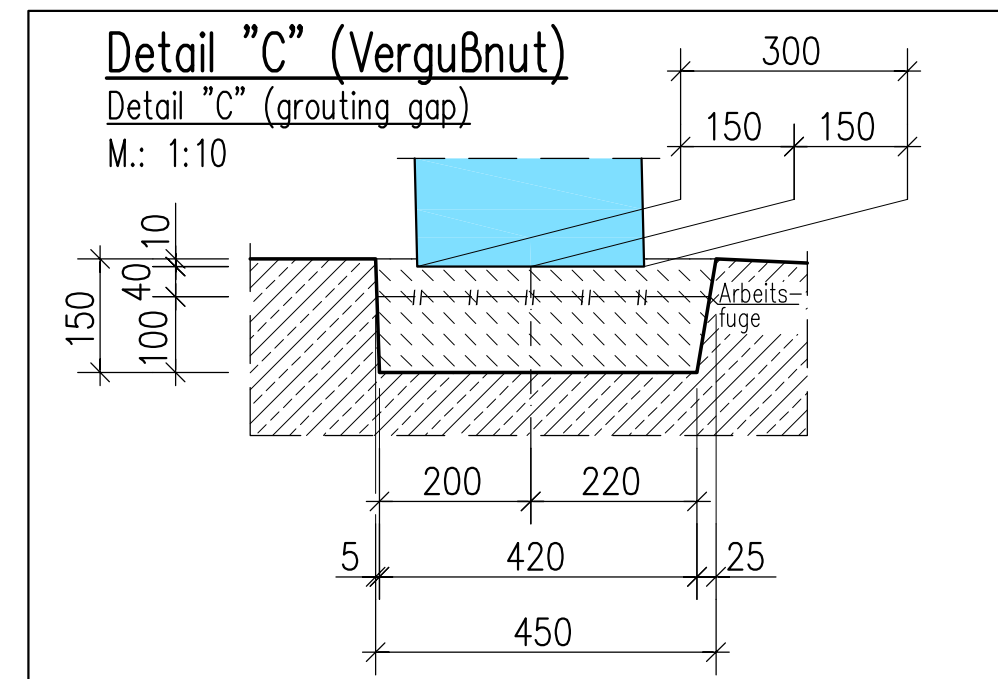
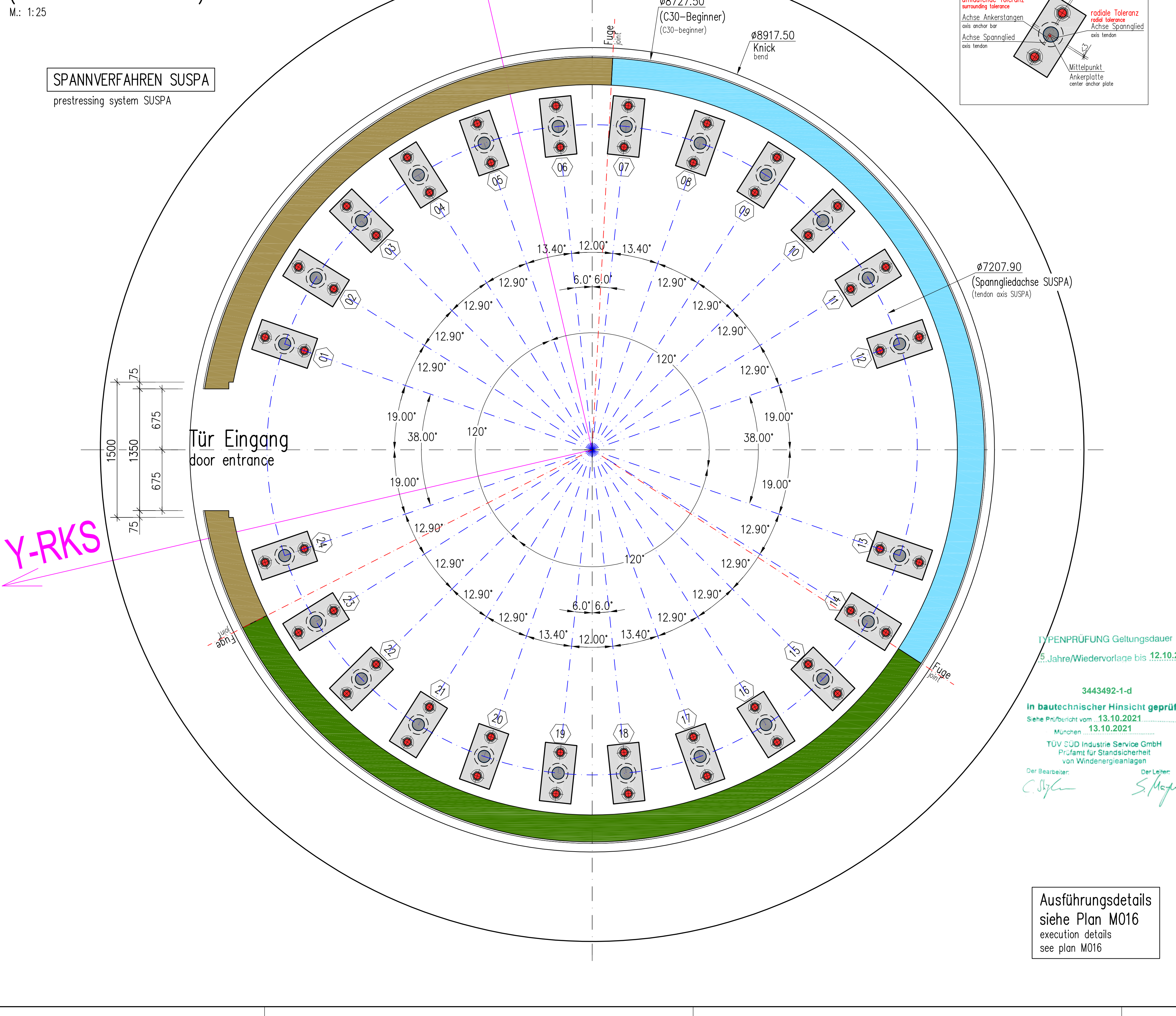
M.: 1:10



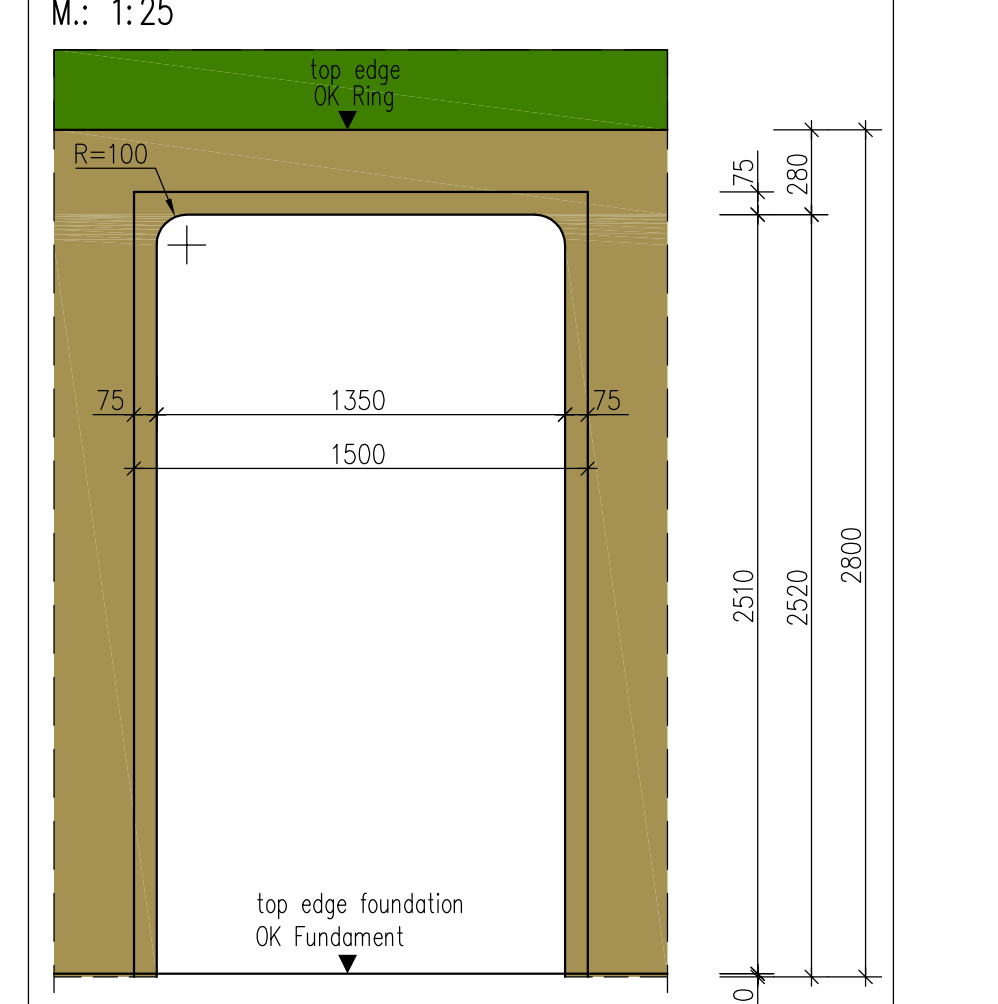
M.: 1:10



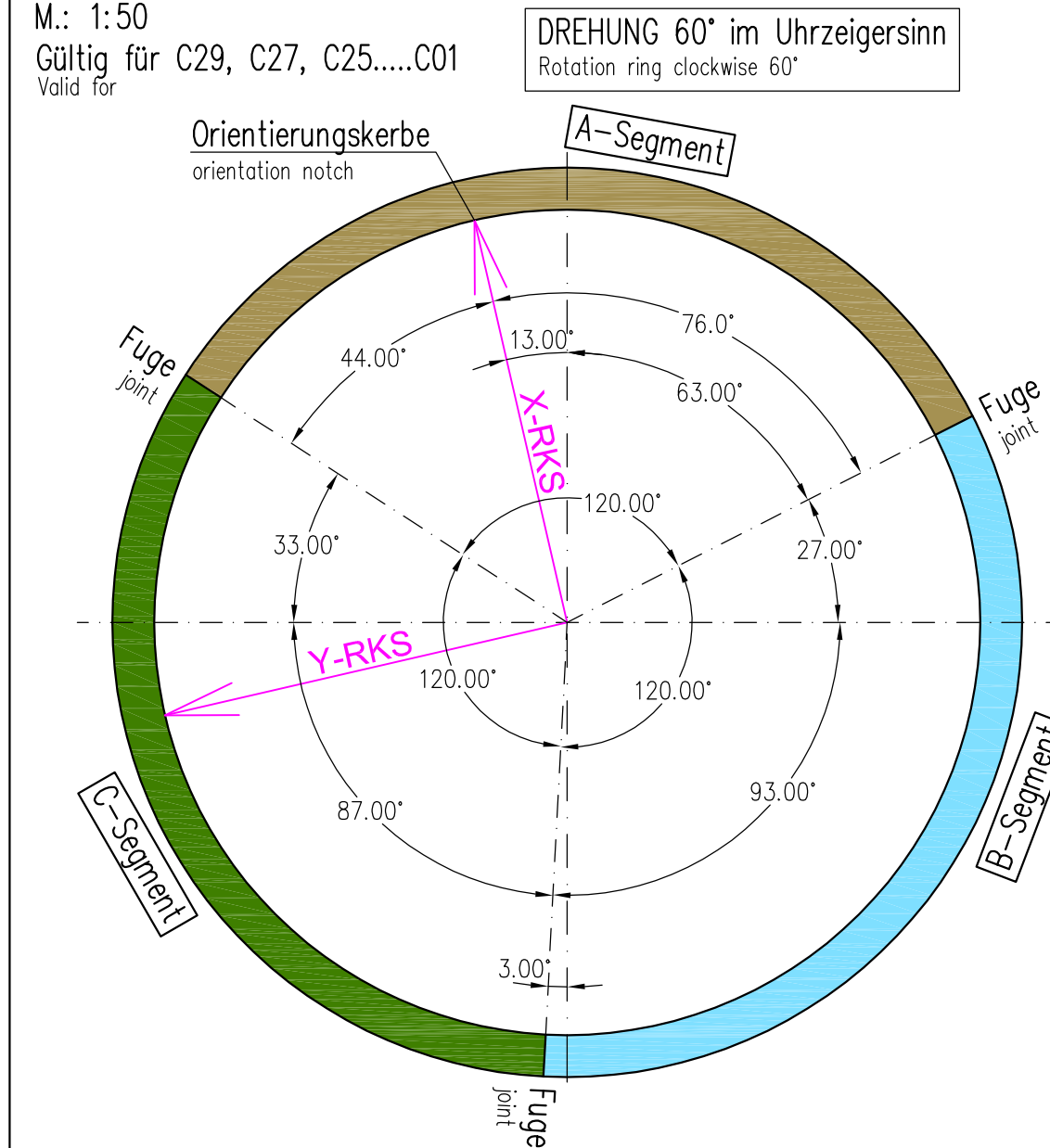
FUNDAMENT – GRUNDRISS
(auf H=0.65m ü. FOK)



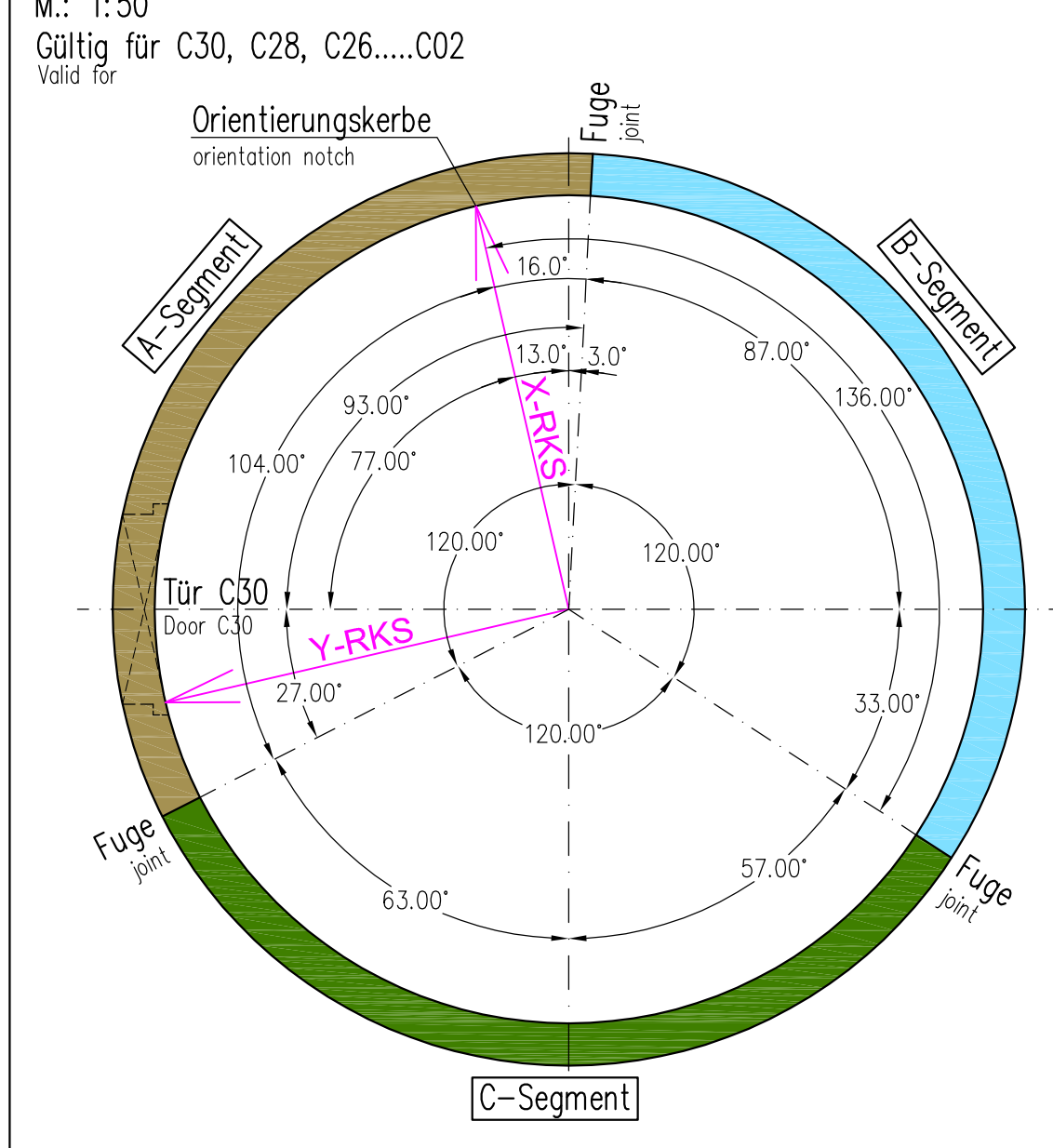
View "door" (inside)



Schema Anordnung ungeradzahliger C-Ringe



Schema Anordnung geradzahliger C-Ringe
M: 1:50



ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 DIBt 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB	ENERCON wind turbine generat E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-0 DIBt 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB
---	---

	Toleranzvorgaben ergänzt	Lerzer	11.10.
	Toleranzanforderungen nach dem Vorgesprochenes ergänzt	Lerzer	08.10.
	Höhe Nachkennzeichnung angepasst	Ermst	07.10.
	Plan berichtigt / Spriegelbedkonstruktion berichtigt	Sch./Ma. Jostlytic Dietmar	10.08.



Bauherr:	Max Bögl	Projekt	2168
		Blatt	

Bauvorhaben:	Windkraftanlage	wind turbine generator	1.60*8
Bauteile:	Übersichtsplan Gesamtturm	layout tower	Maßstab
	NH=166,6m, Spannnglieds. "SUSPA"	version "SUSPA"	1:200; 1:20, 1:

erst.: Sohr.	Dat.: 30.05.2021	Boegl-Planbezeichnung					
gepr.: Reikensp.	Dat.: 30.05.2021	Land	Turntyp	Ringtyp	Segment	Beambel	Planbezeichnung
freig.: Betz	Dat.: 30.05.2021	DE	E21	001	XX	X	Übersicht

ENERCON - Flurbestellung	D02405551-4	10-12
--------------------------	-------------	-------

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Genehmigung der Siemens AG. Dieses Dokument ist Eigentum der Siemens AG. Es ist nicht für den Verkauf vorgesehen und darf nicht an Dritte weitergegeben werden. Es darf nur für den Zweck, den es betrifft, verwendet werden. Es darf nicht für andere Zwecke kopiert, reproduziert, weitergegeben oder in irgendeiner Weise veröffentlicht werden. Die Siemens AG übernimmt keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität der hierin enthaltenen Informationen. Die Siemens AG ist nicht verpflichtet, Änderungen an den hierin enthaltenen Informationen anzukündigen. Die Siemens AG ist nicht verpflichtet, Änderungen an den hierin enthaltenen Informationen anzukündigen. Die Siemens AG ist nicht verpflichtet, Änderungen an den hierin enthaltenen Informationen anzukündigen.

Software-Bezeichnung: DE E21 001 XX X Übersicht

Technical drawing of a vertical pipe section, likely a chimney or industrial duct, showing dimensions and segment thicknesses.

Overall Dimensions:

- Total Height: 76160 mm
- Top Flange Diameter: $\phi 4300$
- Bottom Flange Diameter: $\phi 4300$

Segment Thicknesses (mm):

- Segment 1: 32mm
- Segment 2: 31mm
- Segment 3: 30mm
- Segment 4: 29mm
- Segment 5: 28mm
- Segment 6: 27mm
- Segment 7: 25mm
- Segment 8: 24mm
- Segment 9: 24mm
- Segment 10: 24mm
- Segment 11: 23mm
- Segment 12: 22mm
- Segment 13: 21mm
- Segment 14: 20mm
- Segment 15: 19mm
- Segment 16: 18mm
- Segment 17: 18mm
- Segment 18: 17mm
- Segment 19: 17mm
- Segment 20: 17mm
- Segment 21: 17mm
- Segment 22: 17mm
- Segment 23: 17mm
- Segment 24: 17mm
- Segment 25: 17mm
- Segment 26: 17mm
- Segment 27: 17mm
- Segment 28: 26mm
- Segment 29: 35mm

Flange Details:

- Flansch 1 (Bottom): $\phi 4300$, Elevation: +88589
- Flansch 2 (Top): $\phi 4180$, Elevation: +134789

Section Labels:

- Section 1: 29960 mm
- Section 2: 24360 mm
- Section 3: 21840 mm

Other Notes:

- Material: KF90 (Schweißbrenner)
- Scale: N300 (Mess)
- Manufacturer: Schweißbrenner gemäß ENERCON
- Drawing: Zeichnung 002133817/01-00/ent

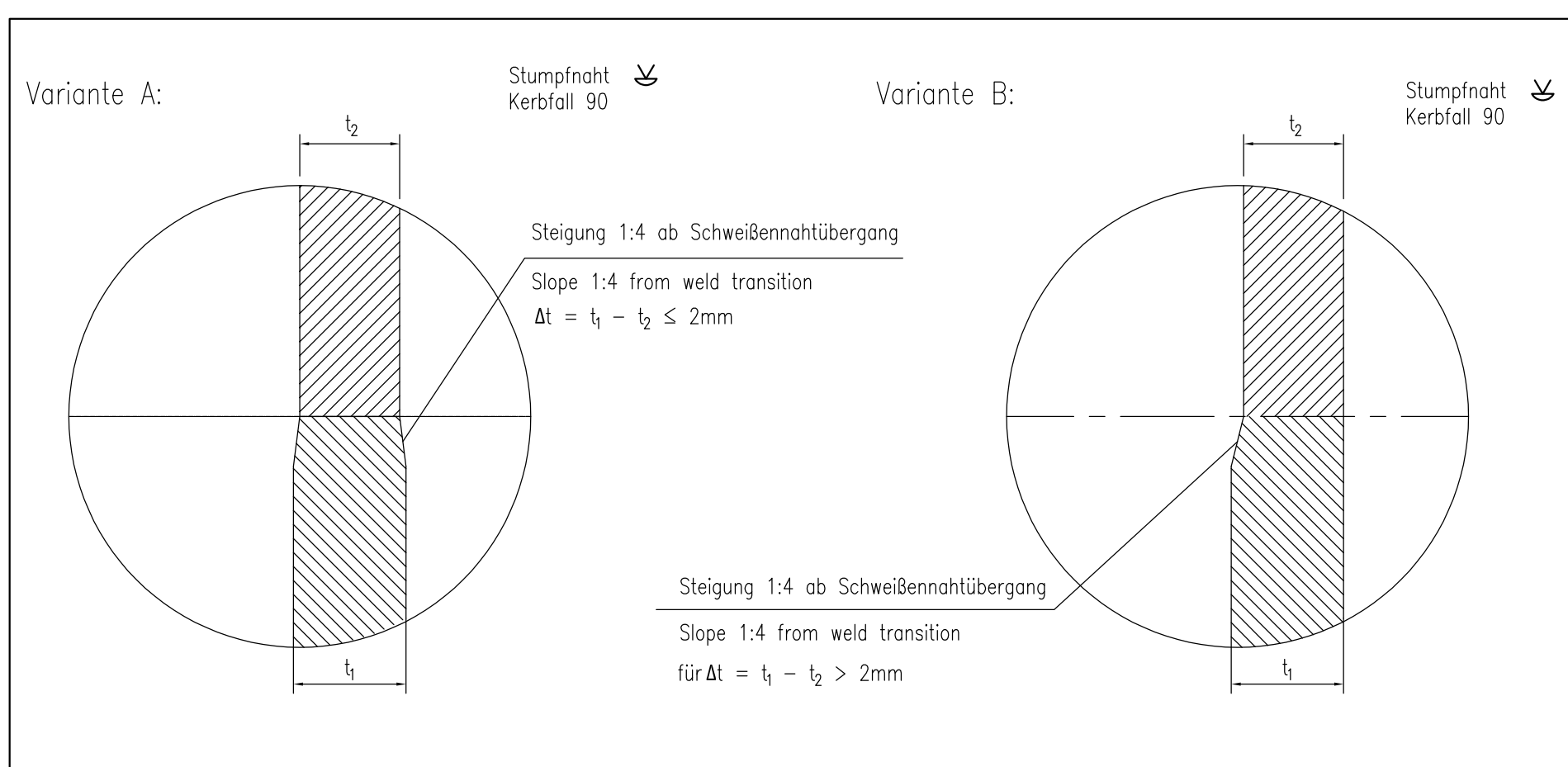
Technical drawing of a bolted connection detail. The drawing shows a side view of a bolted joint with dimensions in mm. Key dimensions include: overall width 4180, hole diameter 4036, flange diameter 3990, flange thickness 145, bolt diameter 39, and bolt length 18. A detail view shows the bolted connection with dimensions 30, 70, 70, 70, 100, 100, 30. The drawing is labeled "Blech/shell plate" and "Blech/shell plate".

M.: 1:20

Technical drawing of a curved structural member, likely a pipe or duct, showing dimensions and material specifications. The drawing includes a curved section with a series of small circles representing rivets or bolts along its length. The dimensions are as follows:

- Outer diameter: $\varnothing 4180$
- Inner diameter: $\varnothing 4144$
- Wall thickness: $\varnothing 4036$
- Inner diameter (at a specific point): $\varnothing 3890$
- Material specification: $136 \times \varnothing 39$

Höhe [m]	Schuss [s]	t [min]	KFK - Butzen				Können die Butzen verwendet werden?							
			30/36	30/36	40/46	40/46	40/42	30/36	30/36	30/36	40/46	40/42		
Korfgestell	163,824	29	35	87	88	89	87	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	162,880	26	86	89	91	92	89	91	ja	ja	ja	ja	ja	
	160,029	27	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	157,249	26	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	154,469	25	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	151,689	24	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	148,889	23	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	146,089	22	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	143,289	21	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	140,489	20	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
Mittelgestell	137,689	19	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	134,889	18	17	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	nein	ja	
	131,839	17	18	87	87	89	86	87	nein	nein	nein	ja	nein	
	128,899	16	18	87	87	89	86	87	nein	nein	nein	ja	nein	
	126,139	15	19	88	88	90	87	88	nein	nein	ja	nein	nein	
	123,289	14	20	89	89	91	88	89	nein	ja	ja	ja	ja	
	120,439	13	21	89	89	91	89	91	nein	ja	ja	ja	ja	
	117,589	12	22	89	90	92	88	90	ja	ja	ja	ja	ja	
	114,739	11	23	89	90	92	89	90	ja	ja	ja	ja	ja	
	112,649	10	24	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja	ja	
Fußgestell	110,554	9	24	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja	ja	
	107,654	8	24	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja	ja	
	104,604	7	25	89	91	93	89	91	nein	ja	ja	nein	ja	
	101,754	6	27	89	90	92	89	90	ja	ja	ja	ja	ja	
	98,904	5	28	89	90	91	88	89	ja	ja	ja	ja	ja	
	96,054	4	29	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja	ja	
	93,204	3	30	89	90	90	88	89	ja	ja	ja	ja	ja	
	90,354	2	31	89	89	89	88	88	ja	ja	ja	ja	ja	
	87,504	1	32	88	89	90	88	88	ja	ja	ja	ja	ja	



Kopfflansch gemäß ENERCON Zeichnung: "D02133917/0.1-de/en".
Top flange acc. so ENERCON drawing: "D02133917/0.1-de/en".

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

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

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

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

Einsatztemperatur T=-30°C.
Operating temperatur T=-30°C.

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

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

- Tolerances for steel plates according to EN 10029 tolerance class B.
- Tolerances for steel plates according to EN 10029 tolerance class B.

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

Flanschtoleranzen gemäß DIBt-Richtlinie und IEC 61400-6
Flange tolerances according to DIBt-guideline and IEC 61400-6

- Ebenheitsabweichung über gesamten Umfang ≤ 2.0 mm.
- Flatness deviation over circumference ≤ 2.0 mm.

- Kurzwelligkeit $\leq 1.0 \text{ mm}/30^\circ$
- Short waveness $\leq 1.0 \text{ mm}/30^\circ$

- Neigungen α_s der Flanschaußenflächen zur Turmwand nach dem Vorspannen 0,0°–0,7°.
- Taper α_s to the inside of the connection surface of each flange after pre-loading 0,0°–0,7°.

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

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

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

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

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

M.: 1:5

$\varnothing 4300$

$\varnothing 134$

$\varnothing 3920$

190

107.0

83.0

$\varnothing 66$

Blech/shell plate

24

35

90⁺²⁵

125

35

90⁻¹²

125

Blech/shell plate

DAST-Richtlinie 021

Technical drawing of a mechanical part (Fig. 1.10). The part is a rectangular block with a width of 190 and a total height of 125. The left side has a vertical dimension of 90 with a tolerance of +0.25/-0. The top-left corner is rounded with a radius of R=10. The top-right corner is also rounded with a radius of R=10. The top surface has a step of 8 units. The bottom surface has a step of 27 units. The drawing includes a scale of 1:2.5 and a title 'Fig. 1.10'.

M.: 1:20

Ø4300
Ø4252
Ø4134
Ø3920

128xØ46

M: 1:5

Ø4300

Ø4102

Ø3790

255

156

99

Ø61

32

40

100^{+2/-2}

96x Gewindestange/stud bolt

Muttern/Scheiben nuts/washers:
DAST-Richtlinie 021, M56-10.9-Hv-L27
F_p,σ=1250KN

Adapter

Technical drawing of a mechanical part (Fig. 1.10) showing a cross-section with dimensions: total width 255, total height 140, base thickness 40, top flange thickness 7, top flange width 12.0, top flange radius $R=10$, and a central cutout width of 8.0 and height of 33.0.

Technical drawing of a curved structural member, likely a pipe or duct, showing dimensions and labels. The drawing includes a scale of 1:20. The member is curved, and the dimensions are as follows:

- Outer diameter: $\phi 4300$
- Inner diameter: $\phi 4236$
- Wall thickness: $\phi 4102$
- Inner diameter (at the bottom): $\phi 3790$
- Thickness of the curved section: $96 \times \phi 61$

Materialien/Materials		
Bauteil/ Component	Material	zusätzliche Anforderungen/ additional Requirements
Turmbliche Tower Shell Plates	DIN EN 10025-2 – S 355J2+N	warm gewalzt, normalisiert (oder normalisierend gewalzt) hot rolled, normalized (or normalizing rolled)
Flansche Flanges	DIN EN 10025-3 – S 355NL	Es sind nur nahtlos gewalzte oder aus Stabstahl gebogene Flansche zulässig. Seamless Rolled (forged) or from steelbars bended Flanges are permitted only.

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

Steel tower masses without internal installation (kg)

	Sektionsgewicht Section weight	Bleche Shells	Oberer Flansch Top flange	Unterer Flansch Bottom flange
Topsektion Top section	56078	50456	4557	1065
Mittelsektion Middle section	55193	52305	1065	1822
Fußsektion Bottom section	68225	63725	1822	2678
Gesamtgewicht Total weight	179496	166486	13009	

[illegible]



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 26.01.2022

Prüfnummer: 3443492-5-d

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Tiefgründung**
Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)
Fundament: TgmA Ø = 23,00 m
Windzone S

54 Fertigteilrammpfähle 45/45 cm
54 Ortbetonrammpfähle Ø 51 cm
44 Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm
22 Bohrpfähle Ø 100 cm

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller Wind-
energieanlage:** ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

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

grbv wind GmbH
Expo Plaza 10
30539 Hannover

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreerkamp 5
26605 Aurich

Geltungsdauer: bis 25.01.2027

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:
3443492-5-d_Enercon_E-160
EP5 E3-HT-166-
ES_TgmA_23m.docx

Das Dokument besteht aus
9 Seiten.
Seite 1 von 9

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

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	26.01.2022	Erstfassung

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	4
2.	Prüfgrundlage	4
3.	Beschreibung	5
3.1.	Baustoffe.....	6
3.2.	Lastannahmen	6
3.3.	Baugrund	6
4.	Prüfumfang	7
5.	Prüfbemerkungen.....	7
6.	Prüfergebnis.....	8
	Auflagen für Herstellung und Errichtung	8

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] "Grundlagendokument zur statischen Bemessung von 4 Typenpfahlgründungen (Variante A bis C)", erstellt von grbv wind GmbH, 124 Seiten,
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 01, vom 2021-11-24
Enercon Dokument Nr. D02456033-1
- [2] "Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 54 Fertigteilrammpfählen 45/45 cm oder 54 Ort betonrammpfählen Ø51 cm (Variante A)", erstellt von grbv wind GmbH, 179 Seiten,
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 01, vom 2021-11-24
Enercon Dokument Nr. D02456034-1
- [3] "Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 44 Ort betonrammpfählen Ø56 cm (Variante B)", erstellt von grbv wind GmbH, 147 Seiten,
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 01, vom 2021-11-24
Enercon Dokument Nr. D02456035-1
- [4] "Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 22 Bohrpfählen Ø100 cm (Variante C)",
erstellt von grbv wind GmbH, 147 Seiten,
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 01, vom 2021-11-24
Enercon Dokument Nr. D02456036-1
- [5] "Fundamentdatenblatt, Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 DE_E21, E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Tiefgründung, erstellt von Max Bögl Wind AG, 15 Seiten,
Projekt Nr. 21683-E21,
Enercon Dokument Nr. D02567170-0, Rev. 0, vom 2022-01-20
- [6] "Schalplan Fundament Ø23.00m", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-305-XX-X-Schalplan, Rev. 0, vom 2021-09-02,
Enercon Plan Nr. D02456047-0
- [7] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-008-XX-X-Uebersicht, Rev. a, vom 2021-11-26,
Enercon Plan Nr. D02456037-1
- [8] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante B", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-108-XX-X-Uebersicht, Rev. a, vom 2021-11-26,
Enercon Plan Nr. D02456041-1
- [9] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante C", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-208-XX-X-Uebersicht, Rev. a, vom 2021-11-26,
Enercon Plan Nr. D02456044-1
- [10] "Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-010-XX-X-Uebersicht, Rev. a, vom 2021-11-26,
Enercon Plan Nr. D02456040-1
- [11] "Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante B", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-110-XX-X-Uebersicht, Rev. a, vom 2021-11-26,
Enercon Plan Nr. D02456043-1
- [12] "Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante C", erstellt von Max Bögl Wind AG,
Plan Nr. DE-E21-210-XX-X-Uebersicht, Rev. a, vom 2021-11-26,
Enercon Plan Nr. D02456046-1



1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [13] „Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01“, erstellt von ENERCON GmbH, 25 Seiten,
Dokument Nr. D02406103-4.0, Rev. 4, Datum 2021-10-01
- [14] „Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01) DIBt WZ S, GK S, Lastannahmen für Turm und Fundament“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten,
Dokument Nr. 8119201822-1 D, Rev. 1, Datum 2021-10-05
- [15] „Spanngliedverankerung 3.0 im Fundament 2.0 (mit 2 Ankerstangen)“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. M578_a, Rev. a, Datum 2021-04-07
- [16] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten,
Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [17] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 9 Seiten,
Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 0, Datum 2021-03-05
- [18] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=166,6m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E21_001_XX_X_Uebersicht, Rev. d, Datum 2021-10-11
ENERCON Dokument Nr. D02405551-4
- [19] Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 698 Seiten,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2021-10-07
Enercon Dokument Nr. D02405544-2
- [20] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01, Windenergieanlage Enercon E-160 EP5 E3 166,6 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten,
Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 0, Datum 2021-10-13
- [21] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG, 16 Seiten,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, vom 2021-07-14
Enercon Dokument Nr. D02405545-0
- [22] „Montageanleitung Ankerkorb mb 3.0“ erstellt von Max Bögl Wind AG, 23 Seiten,
Dokument Nr. A_958, Rev 2.0, Datum 2021-10-08

2. Prüfgrundlage

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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



Industrie Service

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

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

3. Beschreibung

Der Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21) wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Tiefgründung besteht aus einer kreisringförmigen Fundamentplatte mit 23,0 m Außendurchmesser mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockelring ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

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

Das Fundament kann wahlweise ohne Arbeitsfugen oder abschnittsweise gemäß [6] hergestellt werden.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können dem Schalplan [6] entnommen werden.

Die Lasten werden über Stahlbetonpfähle in den tragfähigen Baugrund eingeleitet. Hierzu sind 4 verschiedene Pfahlkonfigurationen konzipiert und nachgewiesen worden, deren Pfahllängen standortabhängig festzulegen sind.

	Variante A.1	Variante A.2	Variante B	Variante C
Anzahl Pfähle	54	54	44	22
Pfahlart	Fertigteiltrammpfahl	Ortbetonrammpfahl	Ortbetonrammpfahl	Bohrpfahl
Pfahlquerschnitt	45/45 cm	Ø 51 cm	Ø 56 cm	Ø 100 cm

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XA1, XD1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsclassen XC4, XF1, XA1, XD1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA EX-84

3.2. Lastannahmen

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind in Dokument [21] angegeben. Diese Lasten basieren auf den Lasten aus [13], wurden mit dem Prüfbericht zum Turm [20] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt abhängig von den Umgebungsbedingungen 20 Jahre ($I_{ref} = 0,16$ und $V_{ave} = 7,5$ m/s) oder 25 Jahre ($I_{ref} = 0,14$ und $V_{ave} = 8,5$ m/s).

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m^2 berücksichtigt.

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

3.3. Baugrund

Die in den Berechnungen [1] bis [4] angenommenen Bodenkennwerte für die horizontale Bettung der Pfähle betragen:

Bodenschicht	Tiefe (ab UK Fundament) [m]	$E_{s,stat}$ [MN/m ²]	$E_{s,dyn}$ [MN/m ²]
nicht tragfähiger Baugrund	0 – 1,0	0	0
	1,0 – 15,0	1	10
Tragfähiger Baugrund	15,0 – 20,0	30	144

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit sowie der dynamischen horizontalen Wegfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Tiefgründung gemäß [7] bis [9]:

Variante	$k_{h,stat}$	$k_{\varphi,dyn}$	$k_{\varphi,stat}$
1	300 MN/m	300 GNm/rad	30 GNm/rad

Der höchste für den Lastfall Auftrieb in [1] bis [4] nachgewiesene Wasserstand liegt bei 0,50 m über Fundamentunterkante.

4. Prüfumfang

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

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung von Turm und Fundament erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

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

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

5. Prüfbemerkungen

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

Die unter Abschnitt 3.3 angegebenen Mindestwerte der Rotationssteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Tiefgründung weichen von den Anforderungen aus Dokument [21] ab. Gemäß den statischen Berechnungen [2] bis [4] ist auch die höhere Anforderung an den Mindestwert der statischen Drehfedersteifigkeit gemäß Dokument [21] für alle Pfahlvarianten abgedeckt. Die Abweichungen können durch diesen Bericht akzeptiert und bestätigt werden.

Schnittstellen:

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Beton des Fundaments am Turmfuß und an der Ankerplatte der Spanngliedverankerung werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in [19] geführt und in [20] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [16] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [17] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [16] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [17] für dieses Fundament gültig ist.

Die Nachweise der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Imperfektionen:

In der statischen Berechnung des Turmes [19] wurden zusätzliche Lasten aus Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte von $k_{\phi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$ angesetzt. Diese Abweichung gegenüber dem unter Abschnitt 3 geforderten Mindestwert der statischen Drehfedersteifigkeit kann in Bezug auf die Ermittlung der Windlasten am Turmfuß akzeptiert werden.



Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [19] für die Turmschiefstellung 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [20] bestätigt.

6. Prüfergebnis

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

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

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

Auflagen für Herstellung und Errichtung

Baugrund und Pfähle

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsclassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [5] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dies gilt ebenso für den Mindestwert der Federsteifigkeit der dynamischen Horizontalfeder. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen.
5. Die Pfahlschnittgrößen sind in Abhängigkeit der anstehenden Bettung standortspezifisch zu ermitteln. Die Nachweise der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind für jeden Standort gesondert zu erbringen und die Mindestpfahllängen festzulegen.
6. Bei den Nachweisen der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind mögliche Pfahllasten aufgrund von Konsolidierung des schwach tragfähigen Bodens oder Grundwasserschwankungen zu berücksichtigen. Die Grundbruch- und Durchstanzsicherheit des Einzelpfahls und der Pfahlgruppe sowie gegebenenfalls Knicknachweise schlanker Pfähle sind für jeden Standort gesondert zu erbringen. Die Einflüsse der zyklischen Beanspruchung sind dabei zu berücksichtigen. Die Anschlussbewehrung der Pfähle ist mit ausreichender Verankerungslänge in das Fundament einzubinden.
7. Die getroffenen Annahmen bezüglich der äußeren Pfahltragfähigkeiten sind beim Rammen bzw. Bohren der Pfähle zu bestätigen.
8. Der unter dem Fundament anstehende gering tragfähige Boden muss entsprechend den Vorgaben in [7] bis [9] mindestens das Frischbetongewicht des ersten Betonierabschnitts aufnehmen können. Alternativ ist der Boden entsprechend den Angaben des Bodengutachters auszutauschen.



Industrie Service

Ausführung Fundament

9. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsklassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
10. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
11. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
12. Das in [6] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein.

Prüfintervalle:

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

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Reuter'.

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Datum / Date: 20.01.2022
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	

Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 DE_E21

E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Tiefgründung / *Deep foundation*

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Projektnummer /
Project number:

21683-E21

Anlagenhersteller /
Turbine manufacturer:

Enercon GmbH
 Dreekamp 5
 DE-26605 Aurich

Windenergieanlage /
Wind turbine:

Enercon E-160 EP5

Nabenhöhe /
Hub height:

166,6 m

Bauteil /
Component:

Tiefgründung /
Deep foundation

Land /
Country:

Deutschland

Verfasser / *Author:*

Max Bögl Wind AG
 Max-Bögl-Str. 1
 DE-92369 Sengenthal

Enercon Dokumentenr./
 Enercon Document no.:

D02567170-0

Datum / *Date:*

20.01.2022

Revision / *Revision:*

-

Der Bearbeiter:

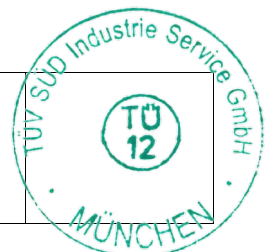
C. Reuter

Der Leiter:

S. Mayer

Bauteil /
 Component: Typenpfahlgründung / *Type pile foundation*

Block /
 Chapter:




Verfasser / Author:  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Revision / <i>Revision</i>	Datum / <i>Date</i>	Beschreibung / <i>Description</i>	Bearbeiter / <i>Author</i>
-	20.01.2022	Erstausgabe / <i>First release</i>	C. von Oesen

Datum / *Date*: 20.01.2022

Aufgestellt /
Prepared by:


 i.A. Christoph von Oesen

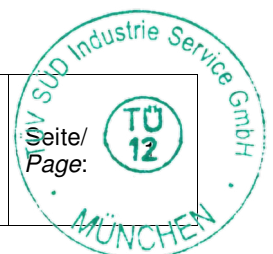
Geprüft /
Checked by:


 i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft und freigegeben /
Checked and approved by:


 i.A. Thorsten Betz

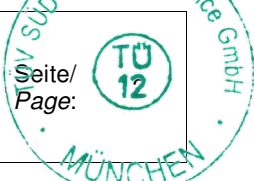
Bauteil / <i>Component</i> :	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>
Block / <i>Chapter</i> :	Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>



Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Datum / Date: 20.01.2022
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	

Inhaltsverzeichnis / *Table of contents*

Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>	1
Inhaltsverzeichnis / <i>Table of contents</i>	2
1 Allgemeines / <i>General</i>	3
2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i>	4
3 Belastung / <i>Loading</i>	6
3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / <i>Own weight, soil cover and buoyancy</i>	6
3.2 Turmlasten / <i>Tower loads</i>	7
3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / <i>BS-P, BS-T and BS-A</i>	7
3.2.2 GZT und GZG / <i>ULS and SLS</i>	8
4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>	9
5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / <i>Pile loads and stresses</i>	10
5.1 Allgemeines / <i>General remarks</i>	10
5.2 Variante A: Fertigteil- oder Ort betonrammpfähle / <i>Variant A: pre-cast driven or cast in situ concrete piles</i>	11
5.3 Variante B: Ort betonrammpfähle / <i>Variant B: Rammed in-situ concrete piles</i>	12
5.4 Variante C: Bohrpfähle / <i>Variant C: Bored piles</i>	13
5.5 Bemessungswert der Pfahlschnittgrößen / <i>Pile stress resultant design value</i>	14

Bauteil / Component:	Typenpahlgründung / Type pile foundation	
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents	

Verfasser / Author:  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

1 Allgemeines / General

In diesem Dokument werden die Kennwerte der Typenpfahlgründung für die nachfolgend angegebene Windenergieanlage zusammengefasst.

This document summarizes the properties of the type pile foundation for the following wind turbine.

Turm / Tower

Beschreibung / Description

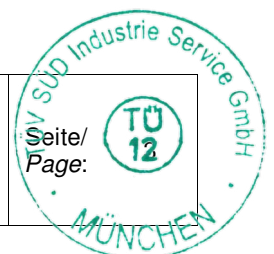
Turmtyp / Tower type	Max Bögl hybrid tower E21
Hersteller / Manufacturer	Enercon
Land / Country	DE
Leistung / Power	5,50 MW
Rotor / Rotor	E-160
Nabenhöhe / Hub height	166,6 m
Turmsystem / Tower system	RT2.0

Die Turmgeometrie ist in der folgenden Zeichnung von Max Bögl angegeben:

The tower geometry is defined in the following Max Bögl drawing:

DE_E21_001_XX_X_Uebersicht

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General

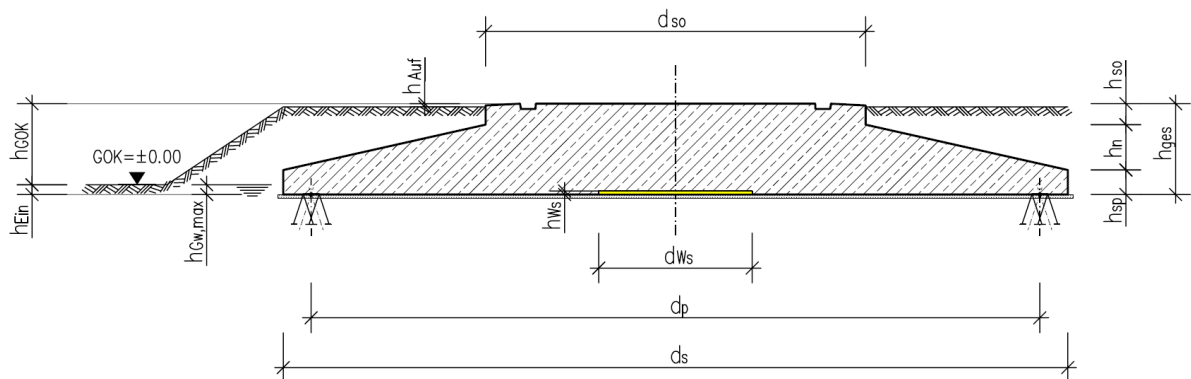


Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5				NH / HH: 166,6 m
				Datum / Date: 20.01.2022

2 Geometrie, Material und Massen / *Geometry, material and dimensions*

Die Geometrie, das Material und die Massen des Fundamententwurfes werden nachfolgend angegeben.

The geometry, material and dimensions are for the foundation draft are defined in this chapter.



Geometrie / Geometry

Betonkörper / *Concrete body*

Außendurchmesser / <i>Outer diameter</i>	d_s	=	23,00 m
Sockeldurchmesser / <i>Base diameter</i>	d_{so}	=	10,90 m
Weichschichtdurchmesser / <i>Soft layer diameter</i>	d_{ws}	=	4,40 m
Pfahlkreisdurchmesser Var. A,B	d_p	=	21,80 m
Pfahlkreisdurchmesser Var. C	d_p	=	21,40 m
Fundamenthöhe / <i>Foundation height</i>	h_{ges}	=	2,80 m
Spornhöhe / <i>Outer height</i>	h_{sp}	=	1,30 m
Spornneigungshöhe / <i>Nose incline height</i>	h_n	=	0,90 m
Sockelhöhe / <i>Base height</i>	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / <i>Separation foundation top edge - ground level</i>	h_{GOK}	=	2,299 m
Einbindetiefe / <i>Embedment depth</i>	h_{Ein}	=	0,501 m
Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungoberkante / <i>Separation foundation top edge - soil cover top edge</i>	h_{Auf}	=	0,10 m
Weichschichtsdicke / <i>Soft layer thickness</i>	h_{ws}	=	0,05 m

Bauteil / <i>Component:</i>	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>
Block / <i>Chapter:</i>	2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i>



Verfasser / Author:  Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

Material und Massen / Material and dimensions

Beton / Concrete

Gesamtvolumen / Total volume $V_c = 805,0 \text{ m}^3$

Volumen Sockelbereich / Volumen base area $V_{BG1} = 53,0 \text{ m}^3$

Betongüte Sockelbereich / Concrete strength base area C40/50

Volumen Plattenbereich / Volumen plate area $V_{BG2} = 752,0 \text{ m}^3$

Betongüte Plattenbereich / Concrete strength plate area C30/37


Betonstahl / Reinforcement steel

Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bewehrungsgehalt / Reinforcement ratio 142,9 kg/m³

Bewehrungstonnage / Reinforcement weight 115,0 t

Pfähle / Piles		
Var. A1	54 Fertigteilrammpfähle nach innen und außen geneigt / 54 pre-cast driven piles inclined inwards and outwards	a/b 45/45 cm
Var. A2	54 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt / 54 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards	Ø 51 cm
Var. B	44 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt / 44 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards	Ø 56 cm
Var. C	22 Bohrpfähle vertikal / 22 bored piles vertical	Ø 100 cm

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions	

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Datum / Date: 20.01.2022
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	

3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

The followings loads were applied in the foundation design.

Die Belastung aus der Windenergieanlage wurden gemäß der folgenden Lastrechnung angesetzt.

The loads from the wind turbine were applied according to the following load calculation.

Enercon GmbH:

Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P_2P as per DIBt. Document-ID: D02406103-0.0. Rev. 0.0, 2021-06-24.

3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / Own weight, soil cover and buoyancy

Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / Concrete specific weight	γ_c	=	25,0 kN/m ³
Betongewicht / Concrete weight	G_c	=	20 175 kN


Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / Inner thickness backfill	$t_{\text{Max}\ddot{U}s,\text{inn}}$	=	0,500 m
Höhe Erdüberschüttung außen / Outer thickness backfill	$t_{\text{Max}\ddot{U}s,\text{aus}}$	=	1,400 m

Bodenwichte / Soil specific weight	$\gamma_{\ddot{U}s}$	=	18,0 kN/m ³
Gewicht Erdüberschüttung / Soil cover weight	$G_{\text{Max}\ddot{U}s}$	=	5 820 kN

Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / Buoyancy height	$h_{\text{Gw},\text{max}}$	=	0,501 m
Auftriebskraft / Buoyancy force	$G_{\text{Gw},\text{max}}$	=	-2 082 kN

Bauteil / Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation	
Block / Chapter: 3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 20.01.2022
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21		

3.2 Turmlasten / *Tower loads*

3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / *BS-P, BS-T and BS-A*

Nachfolgend sind die Lasten für die bodenmechanischen Nachweise angegeben.

Es handelt sich um charakteristische Werte an der Unterkante der Gründung. Erdüberschüttung und Auftrieb sind in den angegebenen Werten nicht enthalten und müssen entsprechend auf die Normalkraft addiert werden.

The loads for geotechnical verifications are specified below.


Those are characteristic values at the foundation bottom. Soil cover and buoyancy are not included in these values and must be added accordingly.

LF / LC	BS-P	BS-T	BS-A
V_k [kN]	38 205	38 205	38 205
H_k [kN]	1 611	822	1 475
$M_{b,k}$ [kNm]	164 311	115 980	217 140

Lasten an Fundamentunterkante ohne Erdüberschüttung und ohne Auftrieb / *Loads at the foundation bottom without soil cover and without buoyancy*

Legende / *Legend:*

- V_k : Normalkraft (vertikal) / *Normal force (vertical)*
- H_k : Querkraft (horizontal) / *Shear force (horizontal)*
- $M_{b,k}$: Biegemoment / *Bending moment*

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	
Block / Chapter:	3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Datum / Date: 20.01.2022
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21	

3.2.2 GZT und GZG / ULS and SLS

Die folgenden Turmlasten werden für die Berechnung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Fundaments benutzt.

Es handelt sich um Designlasten inkl. des angegebenen Teilsicherheitsbeiwert an der Oberkante der Gründung. Fundamenteigenwicht, Turmvorspannung, Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaige Anbauteilen sind nicht in diesen Lasten enthalten.

The next loads are considered for the calculation of the resistance and serviceability of the foundation.


These are design loads at the foundation top. Foundation own weight, tower prestressing, soil cover, buoyancy and possible mounting parts are not included in these loads.

LF / LC	GZT / ULS	D.3
V_{Ed} [kN]	19 833	18 030
H_{Ed} [kN]	1 623	958
$M_{b,Ed}$ [kNm]	235 774	125 810
$M_{t,Ed}$ [kNm]	49	3 799
γ_E	1,10	1,00

Lasten an Fundamentoberkante / *Loads at the foundation top*

Legende / *Legend:*

- V_{Ed} : Normalkraft (vertikal) / *Normal force (vertical)*
- H_{Ed} : Querkraft (horizontal) / *Shear force (horizontal)*
- $M_{b,Ed}$: Biegemoment / *Bending moment*
- $M_{t,Ed}$: Torsionsmoment / *Torsional moment*
- γ_E : Sicherheitsfaktor / *Safety factor*

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>	
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>	

Verfasser / Author:  Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

4 Anforderungen an den Baugrund / *Soil requirements*

Der Baugrund am geplanten Standort muss mindestens die nachfolgenden Anforderungen erfüllen. Die Eignung des geplanten Standorts ist durch den Bodengutachter nachzuweisen.

Der Baugrund muss die im folgenden Kapitel angegebenen Pfahlkräfte sicher abtragen können. Die Berechnung der Pfahlkräfte und -schnittgrößen basiert auf dem unten genannten Baugrundaufbau. Diese Mindeststeifigkeiten des Baugrunds sind durch den Bodengutachter für jeden Standort zu bestätigen.

The soil at the planned site has to comply with the following requirements. The suitability of the planned site must be proven by the soil expert.

The soil must be capable of bearing the pile forces specified in the following chapter. The calculation of the pile loads and stresses is based on the below given soil structure. This minimum stiffness of the soil must be confirmed by the geotechnical expert for each location.

Drehfedersteifigkeit und Wegfedersteifigkeit / *Rotation and translational spring stiffness*

Mindestwert / *Minimal value*

Statische Drehfeder / <i>Static rotational spring</i>	$k_{\phi, \text{stat}}$	=	30 000	MNm/rad
Dynamische Drehfeder / <i>Dynamic rotational spring</i>	$k_{\phi, \text{dyn}}$	=	300 000	MNm/rad
Dynamische Wegfeder / <i>Dynamic translational spring</i>	k_f, dyn	=	300	MN/m

Zulässige Schiefstellung / *Allowed out-of-vertical deviation*

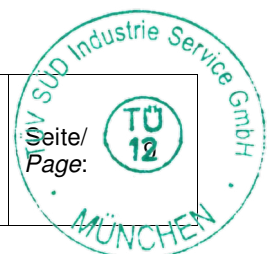
Maximal zulässige Schiefstellung / *Maximal allowed out-of-vertical inclination*

$$\Delta s_{\text{max}} = 3 \text{ mm/m}$$

Baugrundaufbau / *Subsoil structure*

Tiefe ab Fundamentunterkante / <i>Depth starting at foundation bottom edge</i>	Var. A - C	
	Es,stat	Es,dyn
0 m – 1 m	0 MN/m ²	0 MN/m ²
1 m – 15 m	1 MN/m ²	10 MN/m ²
15 m – 20 m	30 MN/m ²	144 MN/m ²

Bauteil / <i>Component:</i>	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>
Block / <i>Chapter:</i>	4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>



Verfasser / Author:  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses

5.1 Allgemeines / General remarks

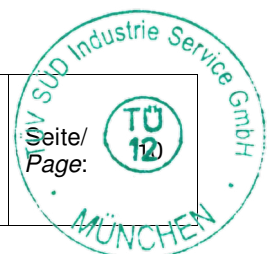
Der Baugrund muss die nachfolgend angegebenen Pfahlkräfte sicher abtragen können. Für den jeweiligen Standort ist durch den Bodengutachter die äußere Tragfähigkeit nachzuweisen und die Pfahlabsetztiefe festzulegen.

The soil must be capable of bearing the following specified pile forces. For each location the geotechnical expert has to verify the external bearing capacity of the piles and define the pile length.

Erläuterung zu den nachfolgenden Tabellen / Explanation for the following tables

- F_G : Anteil infolge ständiger Lasten / *portion due to permanent loads*
 F_Q : Anteil infolge veränderlicher Lasten / *portion due to varying loads*
 F_k : Charakteristische Lasten / *characteristic loads*
 F_d : Bemessungswert der Lasten / *design load values*
 $\sum F_d$: Summe ständige und veränderliche Lasten / *sum of permanent and varying loads*

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses



Verfasser / Author: <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;">  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

5.2 Variante A: Fertigteil- oder Ortbetonrammpfähle / Variant A: pre-cast driven or cast in situ concrete piles

Pfahlkräfte Variante A / Pile loads variant A

Pfahldaten / Pile data

Querschnitt Breite / Breite oder / Cross section width/width or	$b_p/b_p =$	45 / 45 cm
Querschnitt Durchmesser / Cross section diameter	$d_p =$	51 cm
Anzahl / Quantity	$n_p =$	54
Pfahllänge gemäß Statik / Pile length according to structural report	$l_p =$	20,0 m
Anzahl Neigung nach außen / Quantity outward inclination	4,0:1 =	27
Anzahl Neigung nach innen / Quantity inward inclination	8,0:1 =	27

Charakteristische axiale Pfahllasten / characteristic axial pile loads

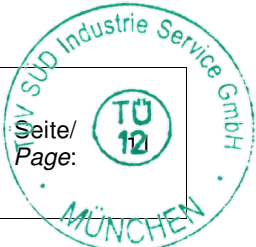
Lastfall/ Load case	γ_F	F_{Gk} ohne Auftrieb/ F_{Gk} without buoyancy	F_{Gk} mit Auftrieb/ F_{Gk} with buoyancy	F_{Qk}	ΣF_k
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,00 / 1,00	-832	-	-811	-1643
Zug / Tension	1,00 / 1,00	-	-793	800	7

Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / Loads do not include partial safety factors

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial pile loads design value

Lastfall/ Load case	γ_F	F_{Gd} ohne Auftrieb/ F_{Gd} without buoyancy	F_{Gd} mit Auftrieb/ F_{Gd} with buoyancy	F_{Qd}	ΣF_d
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-1125	-	-914	-2039
Zug / Tension	1,35 / 0,90	-	-750	900	150

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,10$) / Loads include partial safety factors ($\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,10$)

Bauteil / Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation	<div style="text-align: center;">  </div>
Block / Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses	

Verfasser / Author: <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;">  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

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

Pfahlkräfte Variante B / Pile loads variant B

Pfahldaten / Pile data

Querschnitt Durchmesser / <i>Cross section diameter</i>	d_p	=	56 cm
Anzahl / <i>Quantity</i>	n_p	=	44
Pfahllänge gemäß Statik / <i>Pile length according to structural report</i>	l_p	=	20,0 m
Anzahl Neigung nach außen / <i>Quantity outward inclination</i>	4,0:1	=	22
Anzahl Neigung nach innen / <i>Quantity inward inclination</i>	8,0:1	=	22

Charakteristische axiale Pfahllasten / *characteristic axial pile loads*

Lastfall/ <i>Load case</i>	γ_F	F_{Gk} ohne Auftrieb/ <i>F_{Gk} without buoyancy</i>	F_{Gk} mit Auftrieb/ <i>F_{Gk} with buoyancy</i>	F_{Qk}	ΣF_k
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / <i>Compression</i>	1,00 / 1,00	-1018	-	-994	-2012
Zug / <i>Tension</i>	1,00 / 1,00	-	-970	981	11

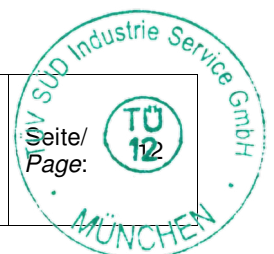
Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / *Loads do not include partial safety factors*

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / *Axial pile loads design value*

Lastfall/ <i>Load case</i>	γ_F	F_{Gd} ohne Auftrieb/ <i>F_{Gd} without buoyancy</i>	F_{Gd} mit Auftrieb/ <i>F_{Gd} with buoyancy</i>	F_{Qd}	ΣF_d
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / <i>Compression</i>	1,35 / 0,90	-1376	-	-1117	-2493
Zug / <i>Tension</i>	1,35 / 0,90	-	-917	1100	183

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,10$) / *Loads include partial safety factors ($\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,10$)*

Bauteil / <i>Component:</i>	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>
Block / <i>Chapter:</i>	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / <i>Pile loads and stresses</i>



Verfasser / Author: <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;">  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

5.4 Variante C: Bohrpfähle / Variant C: Bored piles

Pfahlkräfte Variante C / Pile loads variant C

Pfahldaten / Pile data

Querschnitt Durchmesser / Cross section diameter	d_p	=	100 cm
Anzahl / Quantity	n_p	=	22
Pfahllänge gemäß Statik / Pile length according to structural report	l_p	=	20,0 m
Anzahl vertikal / Quantity vertical	$n_{p,v}$	=	22

Charakteristische axiale Pfahllasten / characteristic axial pile loads

Lastfall/ Load case	γ_F	F_{Gk} ohne Auftrieb/ F_{Gk} without buoyancy	F_{Gk} mit Auftrieb/ F_{Gk} with buoyancy	F_{Qk}	ΣF_k
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,00 / 1,00	-1994	-	-1950	-3944
Zug / Tension	1,00 / 1,00	-	-1900	1925	25

Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / Loads do not include partial safety factors

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial pile loads design value

Lastfall/ Load case	γ_F	F_{Gd} ohne Auftrieb/ F_{Gd} without buoyancy	F_{Gd} mit Auftrieb/ F_{Gd} with buoyancy	F_{Qd}	ΣF_d
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-2693	-	-2028	-4721
Zug / Tension	1,10 / 0,90	-	-1819	2117	298

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,10$) / Loads include partial safety factors ($\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,10$)

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses



Verfasser / Author:  Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 20.01.2022

5.5 Bemessungswert der Pfahlschnittgrößen / Pile stress resultant design value

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

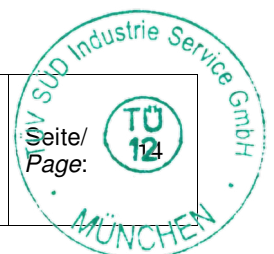
Für den Nachweis der inneren Tragfähigkeit im Zuge der Ausführungsplanung sind die Schnittgrößen unter Ansatz der standort-spezifischen Bodensteifigkeiten an einem FE-Modell zu ermitteln.

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

For a detail design of the piles the stress resultant values must be determined with an FE-Modell considering the site specific soil stiffness.

Pfahlschnittgrößen / Pile stress		Var. A	Var. B	Var. C
Horizontalkraft (Pfahloberkante) / <i>Horizontal force (pile top)</i>	H_d	44 kN	52 kN	166 kN
Einspannmoment in der Platte / <i>Fixed-end moment in plate</i>	M_d	124 kNm*	164 kNm*	816 kNm*
Max. Moment in Pfahlmitte / <i>Max. moment in centre of pile</i>	M_d	78 kNm*	102 kNm*	500 kNm*
*in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung / *depending on soil stiffness				

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses





Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 13.12.2021

Prüfnummer: 3443492-20 Rev.1

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)
Fundament: FlmA Ø = 24,00 m
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller Wind-
energieanlage:** ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

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

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Geltungsdauer: bis 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:
3443492-20 Rev.1_Enercon_E-
160_EP5_E3-HT-166-
ES_FGmA_24m.docx

Das Dokument besteht aus
7 Seiten.
Seite 1 von 7

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

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.10.2021	Erstfassung
1	13.12.2021	Neue Rev. Dokumente [10] und [11]

Inhaltsverzeichnis

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

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Fundament mit Teilauftrieb D = 24,0 m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 200 Seiten inklusive Anhänge A, B, C und D
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, vom 2021-10-04
ENERCON Dokument Nr. D02405549-1
- [2] „Fundamentdatenblatt Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 E21, Bauteil: Fundament mit Teilauftrieb“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 10 Seiten,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, Datum 2021-10-04
- [3] „Schalplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E21_005_XX_X, Rev. a, Datum 2021-08-10
ENERCON Dokument Nr. D02405554-0
- [4] „Bewehrungsplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E21_006_XX_X, Rev. a, Datum 2021-10-04
ENERCON Dokument Nr. D02405555-1

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [5] „Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01“, erstellt von ENERCON GmbH, 25
Seiten,
Dokument Nr. D02406103-4.0, Rev. 4, Datum 2021-10-01
- [6] „Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 RB LM 78.3 P, NH 166.66
m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01) DIBt WZ S, GK S, Lastannahmen für Turm und
Fundament“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 11 Seiten,
Dokument Nr. 8119201822-1 D, Rev. 1, Datum 2021-10-05
- [7] „Spanngliedverankerung 3.0 im Fundament 2.0 (mit 2 Ankerstangen)“, erstellt von Max Bögl
Wind AG,
Zeichnung Nr. M578_a, Rev. a, Datum 2021-04-07
- [8] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“,
erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten,
Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [9] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für
Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere
Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie
Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 9 Seiten,
Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 0, Datum 2021-03-05
- [10] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=166,6m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl
Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E21_001_XX_X_Uebersicht, Rev. d, Datum 2021-10-11
ENERCON Dokument Nr. D02405551-4
- [11] Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm“, erstellt von
Max Bögl Wind AG, 698 Seiten,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2021-10-07
ENERCON Dokument Nr. D02405544-2



- [12] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01, Windenergieanlage Enercon E-160 EP5 E3 166,6 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 14 Seiten, Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 0, Datum 2021-10-13
- [13] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG, 16 Seiten, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, vom 2021-07-14 ENERCON Dokument Nr. D02405545-0
- [14] „Montageanleitung Ankerkorb mb 3.0“ erstellt von Max Bögl Wind AG, 23 Seiten, Dokument Nr. A_958, Rev 2.0, Datum 2021-10-08

2. Prüfgrundlage

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

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

3. Beschreibung

Der Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (E21) wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisringförmigen Fundamentplatte mit 24,0 m Außendurchmesser mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

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

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

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsclassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsclassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA EX-84

3.2. Lastannahmen

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind in Dokument [13] angegeben. Diese Lasten basieren auf den Lasten aus [5], wurden mit dem Prüfbericht zum Turm [12] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt abhängig von den Umgebungsbedingungen 20 Jahre ($I_{ref} = 0,16$ und $V_{ave} = 7,5$ m/s) oder 25 Jahre ($I_{ref} = 0,14$ und $V_{ave} = 8,5$ m/s).

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m² berücksichtigt. Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ berücksichtigt.

3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Zeichnung [3] $k_{\phi,dyn} \geq 200$ GNm/rad und $k_{\phi,stat} \geq 40$ GNm/rad.

Der anstehende Baugrund muss gemäß [2] mindestens eine Bodenpressung von 284 kN/m² aufnehmen können (charakteristischer Wert).

Der höchste für den Lastfall Auftrieb in [1] nachgewiesene Wasserstand liegt 0,501 m über Fundamentunterkante.

4. Prüfumfang

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

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung von Turm und Fundament erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

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

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

5. Prüfbemerkungen

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

Schnittstellen:

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Beton unter dem Vergussmörtel des Fundaments und des Betons über den Ankerplatten im Fundament werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in [11] geführt und in [12] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [8] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [9] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [8] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [9] für dieses Fundament gültig ist.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [13] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [11] für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [12] bestätigt.

6. Prüfergebnis

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

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

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

Auflagen für Herstellung und Errichtung

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.



Industrie Service

3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Ausführung Fundament

5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsklassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete beton technologische Maßnahmen zu ergreifen.
7. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
8. Die in der Berechnung spezifizierte Materialwichte des Fundaments von 23,7 kN/m³ ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
9. Das in [3] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.

Prüfintervalle:

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

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Reuter'.

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5			Datum / Date: 04.10.2021
NH / HH: 166,6 m		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer

...5 Jahre/Wiedervorlage bis 12.10.2026

Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 E21

E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Flachgründung **3443492-20**

Durch Vergleichsrechnung geprüft

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom

Projektnummer /
Project number:

21683-E21

München

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit
von Windenergieanlagen

Anlagenhersteller /
Turbine manufacturer:

Enercon GmbH
Dreekamp 5
DE-26605 Aurich

Der Bearbeiter:

C. Reuter

Der Leiter:

S. Mayer

Windenergieanlage /
Wind turbine:

Enercon E-160 EP5

Nabenhöhe /
Hub height:

166,6 m

Bauteil /
Component:

Fundament mit Teilauftrieb /
Foundation with partial
buoyancy

Verfasser / Author:

Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
DE-92369 Sengenthal

Datum / Date:

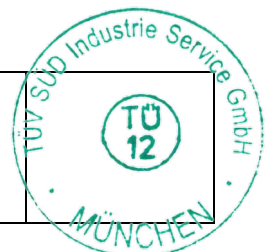
04.10.2021

Revision / Revision:

a

Bauteil /
Component: Fundament / Foundation

Block /
Chapter:



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5			Datum / Date: 04.10.2021
NH / HH: 166,6 m		Hybridenturm / Hybrid tower: E21	

Änderungsverzeichnis / *Table of revision*


Revision / <i>Revision</i>	Datum / <i>Date</i>	Beschreibung / <i>Description</i>	Bearbeiter / <i>Author</i>
-	04.06.2021	Erstausgabe / <i>First release</i>	Plou
a	04.10.2021	Lastenheft 24.06.2021 angesetzt / <i>Load report 24-06-2021 considered</i>	Plou

Datum / *Date*: 04.10.2021

Aufgestellt /
Prepared by:

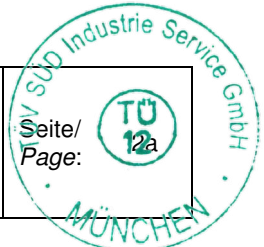

i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft /
Checked by:


i.A. Christoph von Oesen

Geprüft und freigegeben /
Checked and approved by:


i.A. Thorsten Betz

Bauteil / <i>Component</i> :	Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / <i>Chapter</i> :	Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>	

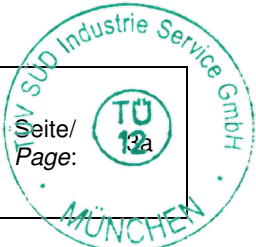
Seite/
Page:

TÜV
12a

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			Datum / Date: 04.10.2021
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21	

Inhaltsverzeichnis / *Table of contents*

Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>	2
Inhaltsverzeichnis / <i>Table of contents</i>	3
1 Allgemeines / <i>General</i>	4
2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i>	5
3 Belastung / <i>Loading</i>	7
3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / <i>Own weight, soil cover and buoyancy</i>	7
3.2 Turmlasten / <i>Tower loads</i>	8
3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / <i>BS-P, BS-T and BS-A</i>	8
3.2.2 GZT und GZG / <i>ULS and SLS</i>	9
4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>	10

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / <i>Table of contents</i>	

Seite/
Page:

TÜV
12a

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			Datum / Date: 04.10.2021
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21	

1 Allgemeines / General

In diesem Dokument werden die Kennwerte des Fundamentes für die nachfolgend angegebene Windenergieanlage zusammengefasst.

This document summarizes the properties of the foundation for the following wind turbine.

Turm / Tower

Beschreibung / Description

Turmtyp / Tower type	Max Bögl hybrid tower E21
Hersteller / Manufacturer	Enercon
Land / Country	DE
Leistung / Power	5,50 MW
Rotor / Rotor	E-160
Nabenhöhe / Hub height	166,6 m
Turmsystem / Tower system	RT2.0

Die Turmgeometrie ist in der folgenden Zeichnung von Max Bögl angegeben:

The tower geometry is defined in the following Max Bögl drawing:

DE_E21_001_XX_X_Uebersicht_a.pdf

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

Seite/
Page:

TÜV
12a

Verfasser / Author:  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: E21	Datum / Date: 04.10.2021

Material und Massen / Material and dimensions

Beton / Concrete

Gesamtvolumen / Total volume $V_c = 747,5 \text{ m}^3$

Volumen Sockelbereich / Volumen base area $V_{BG1} = 56,0 \text{ m}^3$
 Betongüte Sockelbereich / Concrete strength base area C40/50

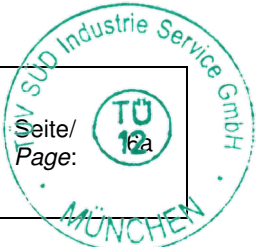
Volumen Plattenbereich / Volumen plate area $V_{BG2} = 691,5 \text{ m}^3$
 Betongüte Plattenbereich / Concrete strength plate area C30/37

Betonstahl / Reinforcement steel

Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bewehrungsgehalt / Reinforcement ratio 116,8 kg/m³

Bewehrungstonnage / Reinforcement weight 87,3 t

Bauteil / Component: Fundament / Foundation	
Block / Chapter: 2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions	Seite/ Page: 16a

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Datum / Date: 04.10.2021
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: E21	

3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

The followings loads were applied in the foundation design.

Die Belastung aus der Windenergieanlage wurden gemäß der folgenden Lastrechnung angesetzt.

The loads from the wind turbine were applied according to the following load calculation.

Enercon GmbH:

Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P_2P as per DIBt. Document-ID: D02406103-0.0. Rev. 0.0, 2021-06-24.

3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / Own weight, soil cover and buoyancy

Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / Concrete specific weight	γ_c	=	25,0 kN/m ³
Betongewicht / Concrete weight	G_c	=	18 687 kN

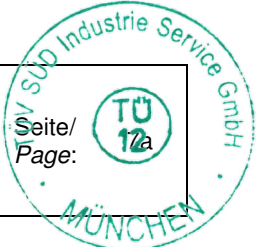
Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / Inner thickness backfill	$t_{\text{Max}\ddot{U}s,\text{inn}}$	=	0,500 m
Höhe Erdüberschüttung außen / Outer thickness backfill	$t_{\text{Max}\ddot{U}s,\text{aus}}$	=	2,000 m

Bodenwichte / Soil specific weight	$\gamma_{\ddot{U}s}$	=	18,0 kN/m ³
Gewicht Erdüberschüttung / Soil cover weight	$G_{\text{Max}\ddot{U}s}$	=	8 686 kN

Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / Buoyancy height	$h_{\text{Gw,max}}$	=	0,501 m
Auftriebskraft / Buoyancy force	$G_{\text{Gw,max}}$	=	-2 266 kN

Bauteil / Component: Fundament / Foundation	
Block / Chapter: 3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

3.2 Turmlasten / *Tower loads*

3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / *BS-P, BS-T and BS-A*

Die folgenden Lasten wurden für die Ermittlung der maximalen Kantenpressungen angesetzt.

Es handelt sich um charakteristische Werte an der Unterkante der Gründung. Erdüberschüttung und Auftrieb sind in den angegebenen Werten nicht enthalten und müssen entsprechend auf die Normalkraft addiert werden.

The next loads were applied for the calculation of the maximum soil edge pressure.

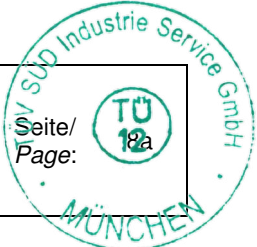
Those are characteristic values at the foundation bottom. Soil cover and buoyancy are not included in these values and must be added accordingly.

LF / LC	BS-P	BS-T	BS-A
V_k [kN]	36 717	36 717	36 717
H_k [kN]	1 611	822	1 475
M_{b,k} [kNm]	164 311	115 980	217 140

Lasten an Fundamentunterkante ohne Erdüberschüttung und ohne Auftrieb / *Loads at the foundation bottom without soil cover and without buoyancy*

Legende / *Legend:*

- V_k: Normalkraft (vertikal) / *Normal force (vertical)*
- H_k: Querkraft (horizontal) / *Shear force (horizontal)*
- M_{b,k}: Biegemoment / *Bending moment*

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 04.10.2021
		Hybridturm / Hybrid tower: E21	

3.2.2 GZT und GZG / ULS and SLS

Die folgenden Turmlasten werden für die Berechnung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Fundaments benutzt.

Es handelt sich um Designlasten inkl. des angegebenen Teilsicherheitsbeiwert an der Oberkante der Gründung. Fundamenteigenwicht, Turmvorspannung, Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaige Anbauteilen sind nicht in diesen Lasten enthalten.

The next loads are considered for the calculation of the resistance and serviceability of the foundation.

These are design loads at the foundation top. Foundation own weight, tower prestressing, soil cover, buoyancy and possible mounting parts are not included in these loads.

LF / LC	GZT / ULS	D.3
V_{Ed} [kN]	19 833	18 030
H_{Ed} [kN]	1 623	958
$M_{b,Ed}$ [kNm]	235 774	125 810
$M_{t,Ed}$ [kNm]	49	3 799
γ_E	1,10	1,00

Lasten an Fundamentoberkante / Loads at the foundation top

Legende / Legend:

- V_{Ed} : Normalkraft (vertikal) / Normal force (vertical)
- H_{Ed} : Querkraft (horizontal) / Shear force (horizontal)
- $M_{b,Ed}$: Biegemoment / Bending moment
- $M_{t,Ed}$: Torsionsmoment / Torsional moment
- γ_E : Sicherheitsfaktor / Safety factor

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			Datum / Date: 04.10.2021
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: E21	

4 Anforderungen an den Baugrund / *Soil requirements*

Der Baugrund am geplanten Standort muss mindestens die nachfolgenden Anforderungen erfüllen. Die Eignung des geplanten Standorts ist durch den Bodengutachter nachzuweisen.

The soil at the planned site has to comply with the following requirements. The suitability of the planned site must be proven by the soil expert.

Drehfedersteifigkeit / *Rotation spring stiffness*

Mindestwert / *Minimal value*

Statische Drehfeder / <i>Static rotational spring</i>	$k_{\phi, \text{stat}}$	=	40 000	MNm/rad
Dynamische Drehfeder / <i>Dynamic rotational spring</i>	$k_{\phi, \text{dyn}}$	=	200 000	MNm/rad

Zulässige Schiefstellung / *Allowed out-of-vertical deviation*

Maximal zulässige Schiefstellung / <i>Maximal allowed out-of-vertical inclination</i>	Δs_{max}	=	3	mm/m
---	-------------------------	---	---	------

Bodenpressung / *Soil bearing pressure*

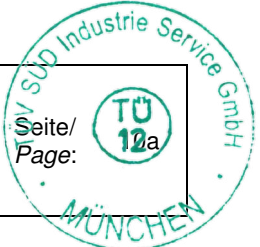
Erforderliche widerstand / *Required resistance*

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-P / <i>Maximal allowed soil pressure in BS-P</i>	$\sigma_{\text{max, BS-P}}$	=	211	kN/m ²
--	-----------------------------	---	-----	-------------------

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-A / <i>Maximal allowed soil pressure in BS-A</i>	$\sigma_{\text{max, BS-A}}$	=	284	kN/m ²
--	-----------------------------	---	-----	-------------------

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-T / <i>Maximal allowed soil pressure in BS-T</i>	$\sigma_{\text{max, BS-T}}$	=	171	kN/m ²
--	-----------------------------	---	-----	-------------------

Diese Werte sind vom Bodengutachter zu bestätigen.
 / *These values must be confirmed by the geotechnical expert.*

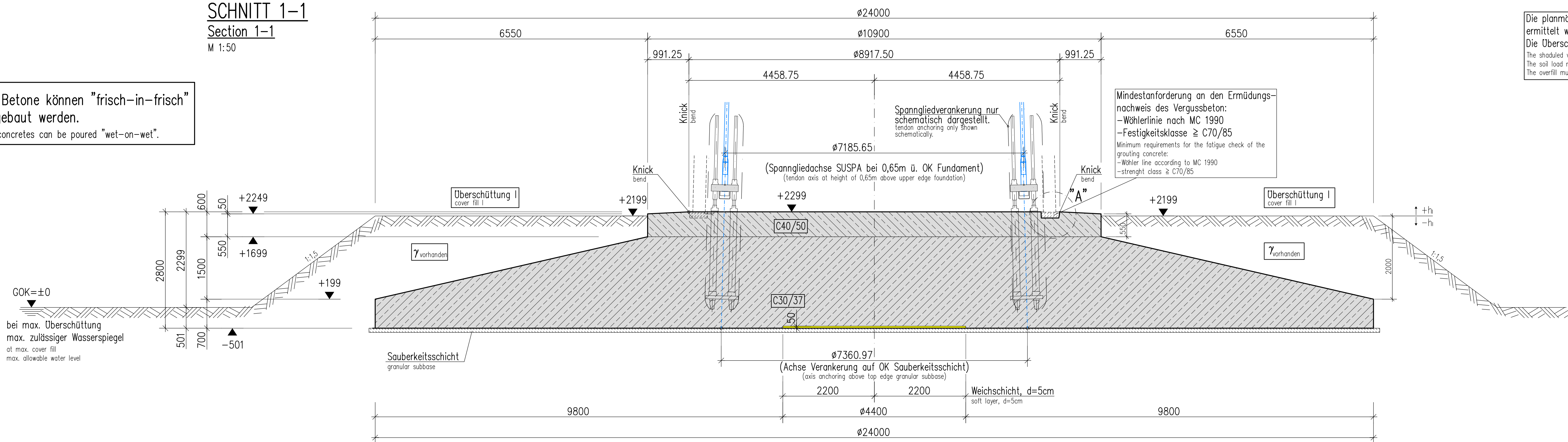
Bauteil / Component: Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / Chapter: 4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>	

SCHNITT 1-1

Section 1-1

M 1:50

Die Betone können "frisch-in-frisch" eingebaut werden.
The concretes can be poured "wet-on-wet".



Die planmäßige Dichte beträgt 1.8 t/m³. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdauflost ist durch den Bodengutachter festzulegen.
The standard value of the soil density is 1.8 t/m³. In case of deviations, the required overfill can be calculated with following formula:
The soil load must be determined by the land surveyor.
The overfill must be at least 50cm.

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

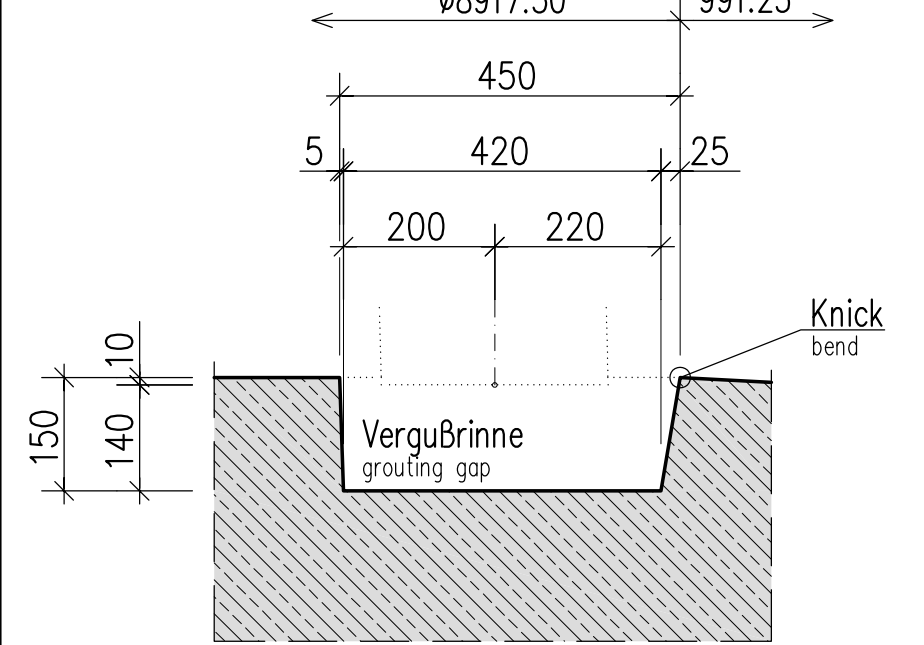
$$A_{\text{Auflost}} = \frac{\pi}{4} \times (24,00^2 - 10,90^2) = 359,1 \text{ m}^2$$
$$V_{\text{erf}} = 482,5 \text{ m}^3$$
$$G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 482,5 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ t/m}^3 = 868,5 \text{ t}$$

$$h_{\text{I}} [\text{m}] = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{erf}}} - V_{\text{erf}} = \frac{868,5 [\text{t}]}{\gamma_{\text{erf}} [\text{t/m}^3]} - 482,5 [\text{m}^3]$$

Detail "A" (Vergußrinne)

Detail "A" (grouting gap)

M 1:10



Volumen Beton:
volume concrete: 746m³
C40/50 = 54m³
C30/37 = 692m³
Gewicht: weight: 18650kN

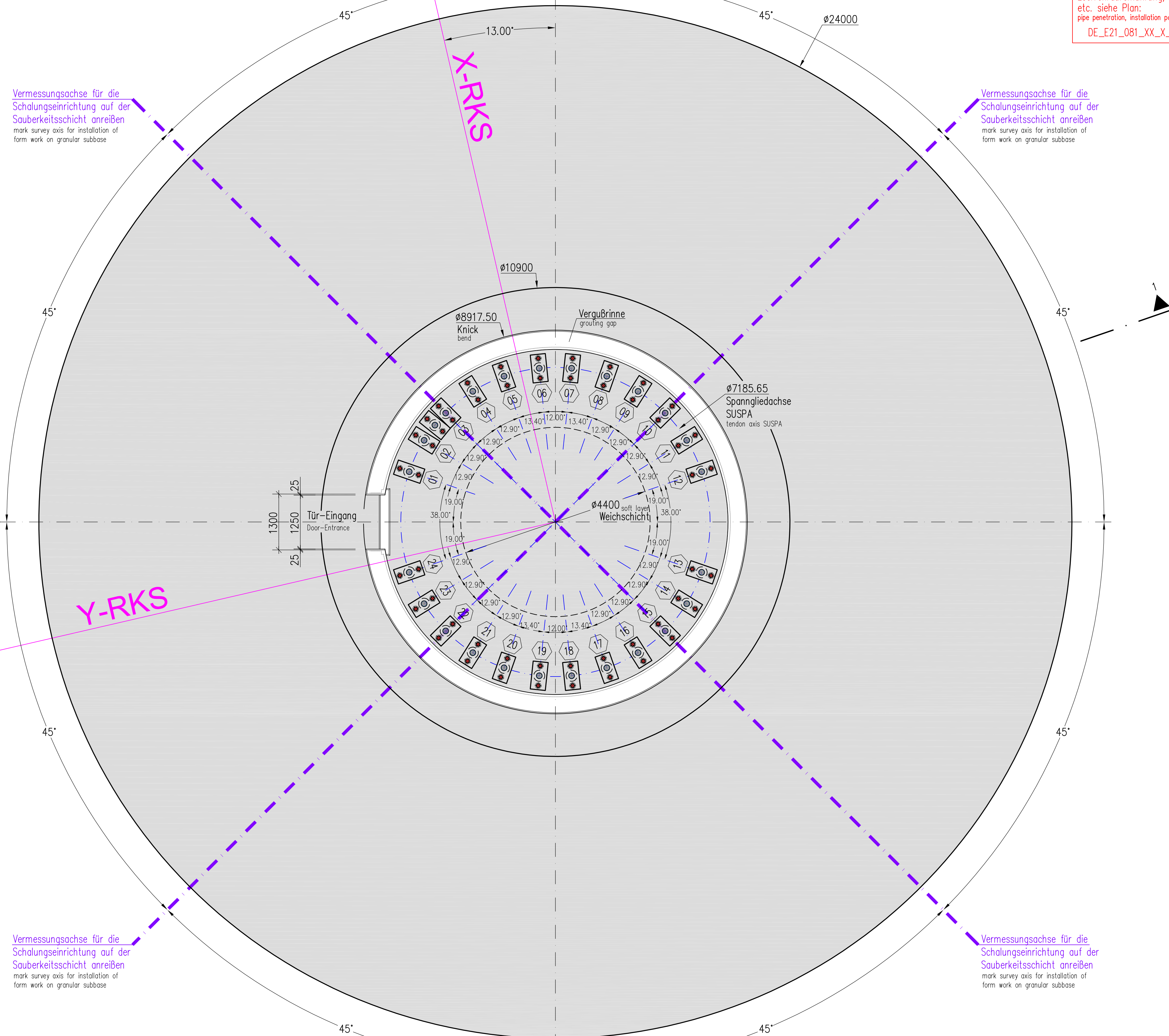
Die Weichschicht in der Fundamentmitte kann in oder auf der Sauberkeitsschicht angeordnet werden.
The soft layer in the foundation center can be placed in or on top of the clean layer.

Leerrohrdurchführung, Einbauteile, etc. siehe Plan:
pipe penetration, installation parts, e.g. see plan:
DE_E21_081_XX_X_Übersicht.

DRAUFSICHT

TOP VIEW

M 1:50



Vermessungssache für die Schalungseinrichtung auf der Sauberkeitsschicht anreißern
mark survey axis for installation of form work on granular subbase

Vermessungssache für die Schalungseinrichtung auf der Sauberkeitsschicht anreißern
mark survey axis for installation of form work on granular subbase

Y-RKS

X-RKS

Vermessungssache für die Schalungseinrichtung auf der Sauberkeitsschicht anreißern
mark survey axis for installation of form work on granular subbase

Vermessungssache für die Schalungseinrichtung auf der Sauberkeitsschicht anreißern
mark survey axis for installation of form work on granular subbase

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

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

Die maximale Schiefstellung infolge Baugrundeisetzungen dürfen gemäß der DIBT-Richtlinie, Fassung Oktober 2012, folgenden Wert nicht überschreiten: The maximum tilt due to differential settlements must not exceed the following value, according to DIBT-guideline, edition October 2012.	In 25 Jahren 3mm/m in 25 years 3mm/m
Im Lastfall BS-P nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung: In loadcase BS-P, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:	$\sigma_{R,k} = 211 \text{ kN/m}^2$
Im Lastfall BS-T nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung: In loadcase BS-T, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:	$\sigma_{R,k} = 171 \text{ kN/m}^2$
Im Lastfall BS-A nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung: In loadcase BS-A, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:	$\sigma_{R,k} = 284 \text{ kN/m}^2$

Alle Werte sind durch den Baugrundgutachter für den jeweiligen Standort zu bestätigen.
All values has to be verified by the building geotechnical expert for the specific location.

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

Maximum characteristic loads ($\gamma_{\text{f}}=1,00$ in der Säftlage der Gründung (exkl. Erdaufschüttung, Auftrieb und etwaiger Einbauteile))	BS-P (DIN 1054:2010)	BS-T (DIN 1054:2010)	BS-A (DIN 1054:2010)
V_k [kN]	36717	36717	36717
H_k [kN]	1611	822	1475
W_k [kN]	164311	115980	217140

Betonfestigkeitsklasse: concrete strength class:	C30/37 und C40/50
Zementart: grade of cement:	CEM II-Zemente alleine (exclusively) oder CEM II-Zemente mit Flugasche (cement with fly ash) oder CEM I- und CEM II-Zemente mit Flugasche (cement with fly ash)
Betondeckung Fundament: required concrete cover:	cy = 5,5cm
Expositionsklassen: exposure class:	XA1, XC4, XD1, XF1 nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 206-1 wenn nicht vom Baugrundgutachter höhere Anforderungen gestellt werden. (Anmerkung: Expositionsklasse XD1 nur im Außenbereich ohne Erdaufschüttung erforderlich) if there are not higher requirements from the building ground consultant (geologist) (Note: Exposure class XD1 is outside areas without backfill / earth cover)
Fachigkeitsklasse: humidity class:	MF
Ausführung: execution:	Massenbeton nach DAfStb-Richtlinie: Massive Bauteile aus Beton Fundamentausführung nach / Bulk concrete according to DAfStb-guideline: concrete structural elements Fundamentkonstruktion according to: DIN EN 206-1 1.V.m. DIN 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670 1.V.m. DIN 1045-3

Fugenausbildung mit einem Vergussmörtel
siehe zugehörigen Übersichtsplan
Joint construction with a grouting mortar
see associated layout complete tower

Grundlegende Anforderungen
Nurwert des Graßkorns der Gesteinskörnung:
Fundamentkopf 16mm
verbleibender Fundamentkörper 12mm
Klasse des Chloridgehaltes: 0,20
Frischbetontemperatur nach Angabe Betonherstellung
jedoch maximal 30°C

Zusätzliche Anforderungen
Kriech- und schwindarmen Beton für die Außenbauteile.
Wegen der großen Betondeckungen ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbinde- und Schwindwirkung ein Betonherstellung einzuschalten.
Probekörper sind gemäß bauteilbezogenen Prüfplan zu erstellen.
Fundamentoberfläche nachverdichten.
Fundamentlenden und Leertende nach den Angaben der Firma Enercon verlegen.

Der Auftragnehmer ist für alle Maßnahmen sowie die korrekte Anbauausführung vor Ort verantwortlich.
Es sind nur angegebene Maßnahmen zu verwenden.
Jedliche Unsicherheiten müssen dem Bauleiter gemeldet werden bevor die Arbeit fortgesetzt wird.

Die Ausführungen sind von einem Fachingenieur zu überwachen.
Die Betonzusammensetzung ist durch entsprechende Lieferzertifikate zu bestätigen.

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

In bautechnischer Hinsicht geprüft.
siehe Bericht vom:
München
TUV SUD Industrie Service GmbH
Prüfung für Standsicherheit
von Windenergieanlagen
Der Bauleiter:
C. Reiter
Der Leiter:
S. Meyer

- dynamische Drehfeder der Gründung: dynamic rotational stiffness	$K_{R,dyn} \geq 200000 \text{ MNm/rad}$
- statische Drehfeder der Gründung: static rotational stiffness	$K_{R,stat} \geq 40000 \text{ MNm/rad}$

ZUGEHÖRIGE PLANE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR. : DE_E21_001_XX_X_Übersicht	Übersichtsplan Gesamturm layout complete tower
DE_E21_004_XX_X_Erdung	Erdung für Fundament grounding for foundation
DE_E21_006_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament foundation reinforcement plan
DE_E21_081_XX_X_Übersicht	Übersichtsplan Leerrohraustritt layout pipe penetration
M578	Spanngliedverankerung 3,0 tendon anchoring 3.0
DE_E21_M012_Montageplan	Absteckung Montagegerahmen staking out mounting frame

ENERCON Windenergieanlage E-160 EPS E3-H-T-160-ES-C-01 DIBT 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB	ENERCON wind turbine generator E-160 EPS E3-H-T-160-ES-C-01 DIBT 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB
--	---

Erstellt: Schr. gepr.: Reifens. Freig: Betz	Dat.: 10.06.2021 Dat.: 10.06.2021 Dat.: 10.06.2021	Land: Turnip Ringe: Segment XX	Boegl-Planbezeichnung DE E21 005 XX X Schalplan	Index
Änderung: Bezeichnung				erstellt: Datum:

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer 5 Jahre/Wiedervorlage bis 12.10.2026	
MAX BÖGL	
Fortschritt baut man aus Ideen.	

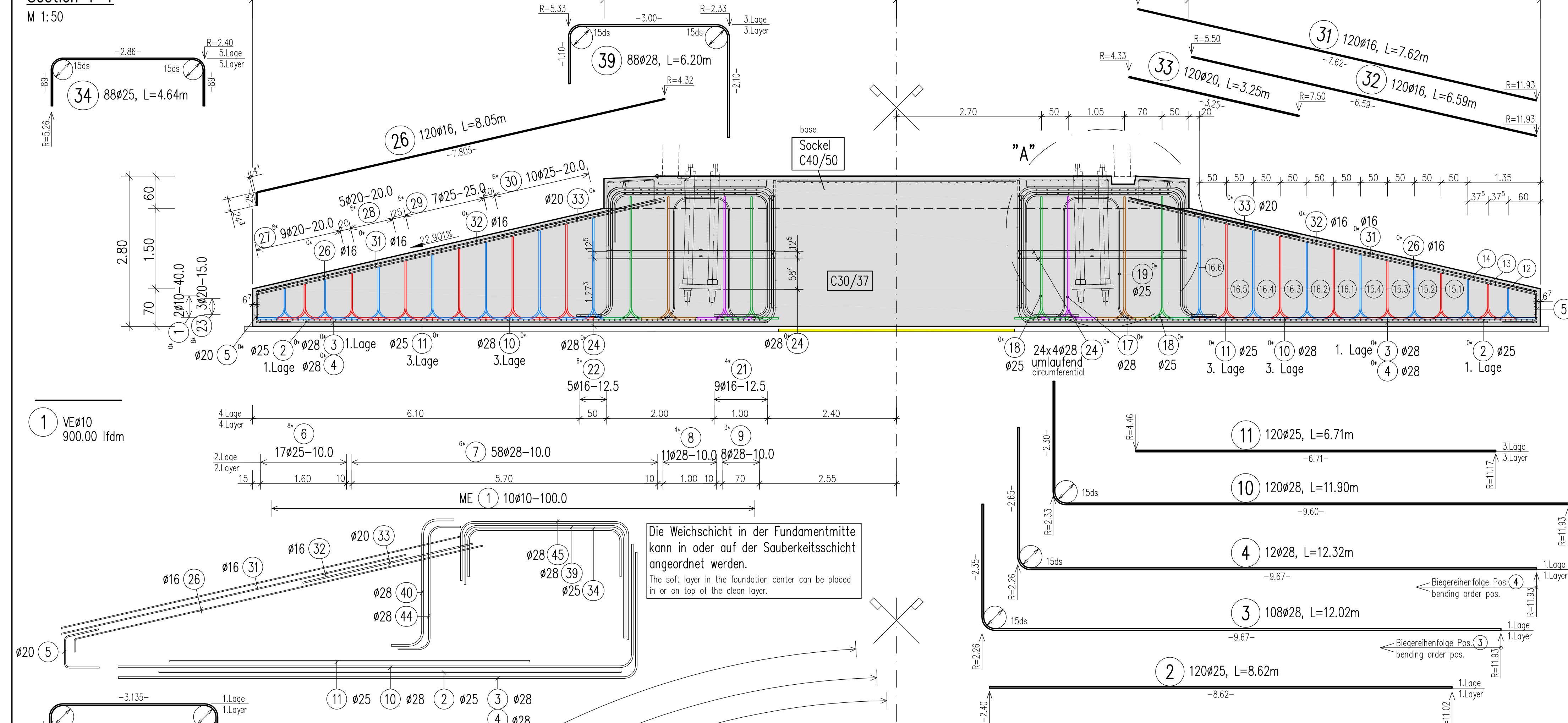
Bauherr: Max Bögl	Projekt Nr.: 21683
Bauvorhaben: Windkraftanlage	Start: 8.4.19m
Bauteile: Schalplan Fundament Ø24.00m	Maßstab: 1:50

erst.: Schr. gepr.: Reifens. Freig: Betz	Dat.: 10.06.2021 Dat.: 10.06.2021 Dat.: 10.06.2021	Land: Turnip Ringe: Segment XX	Boegl-Planbezeichnung DE E21 005 XX X Schalplan	Index
ENERCON-Planbezeichnung 002405554-0				

Softcod-Datenname: DE_E21_005_XX_X_Schalplan

SCHNITT 1-

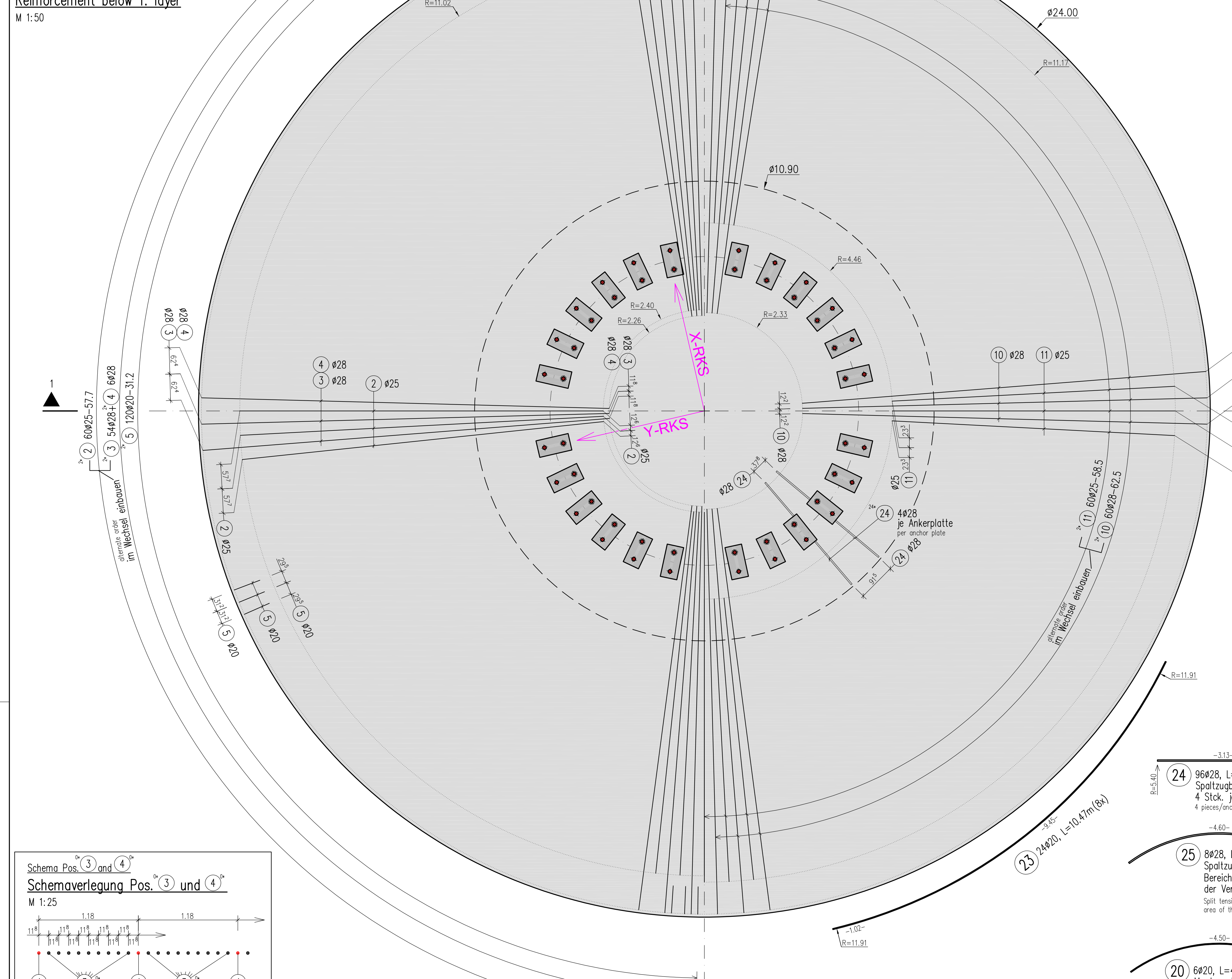
Section 1-1



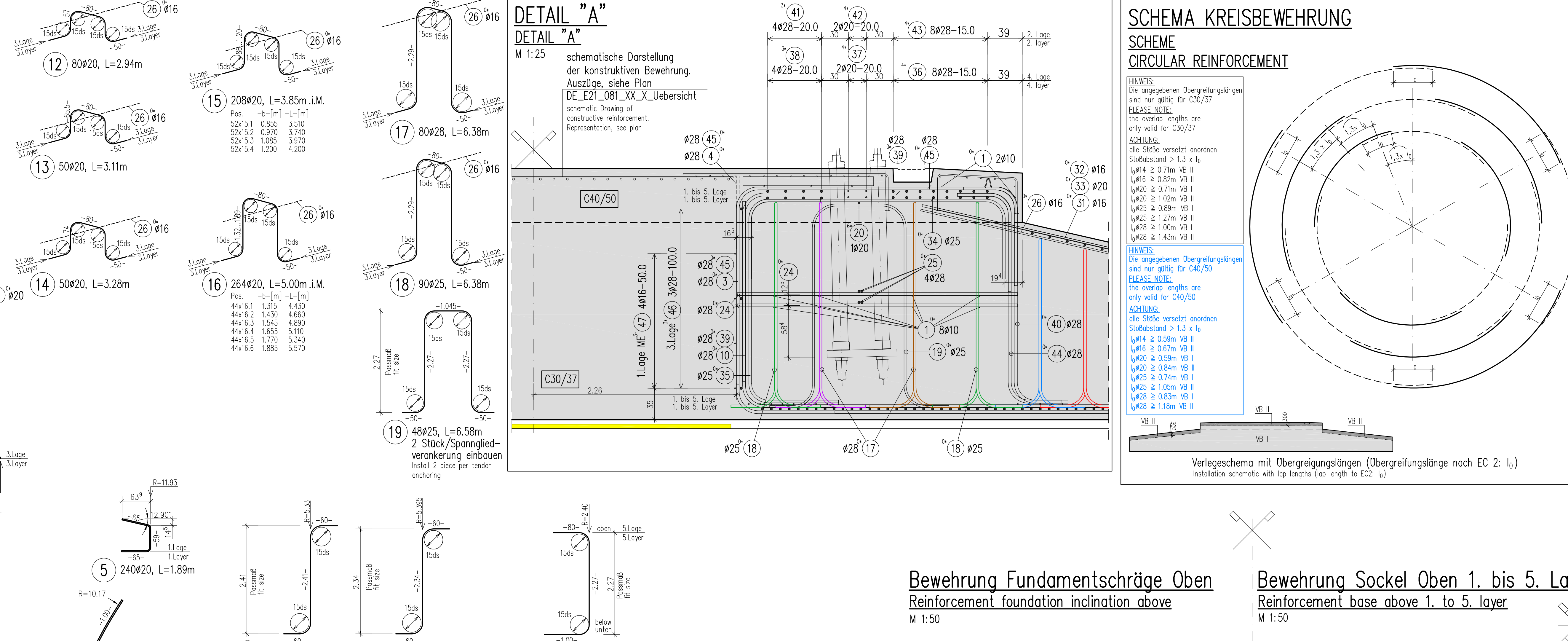
Die Weichschicht in der Fundamentmitte kann in oder auf der Sauberkeitsschicht angeordnet werden.

Bewehrung Unten 1 Lac

Reinforcement below 1 layer



Schema Pos. ③ und ④
Schemaverlegung Pos. ③ und ④
M 1-25

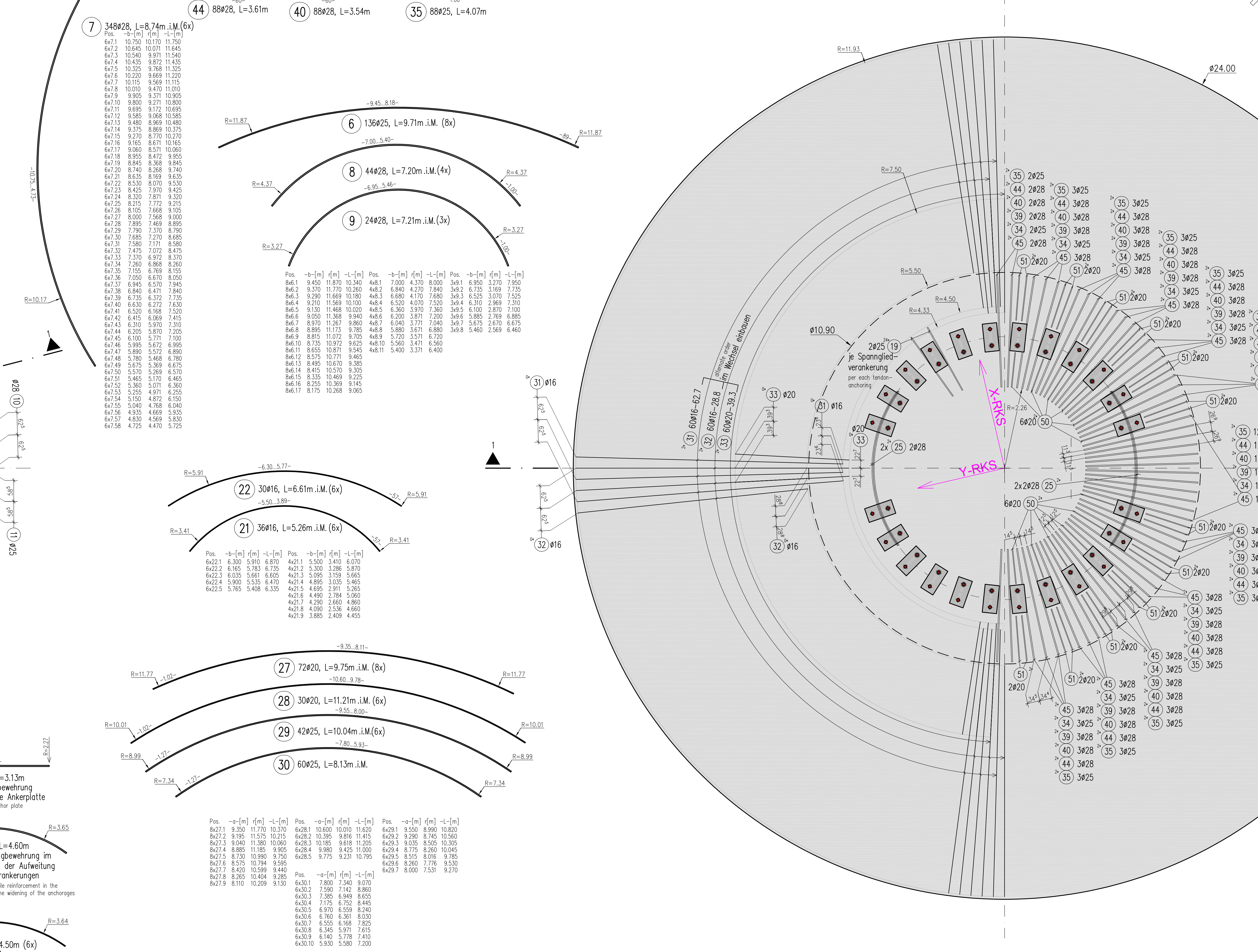


Bewehrung Fundamentschräge Oben

Bewertung Fundamentschraube oben
Befestigungstiefe, Fundament, Installation, oben

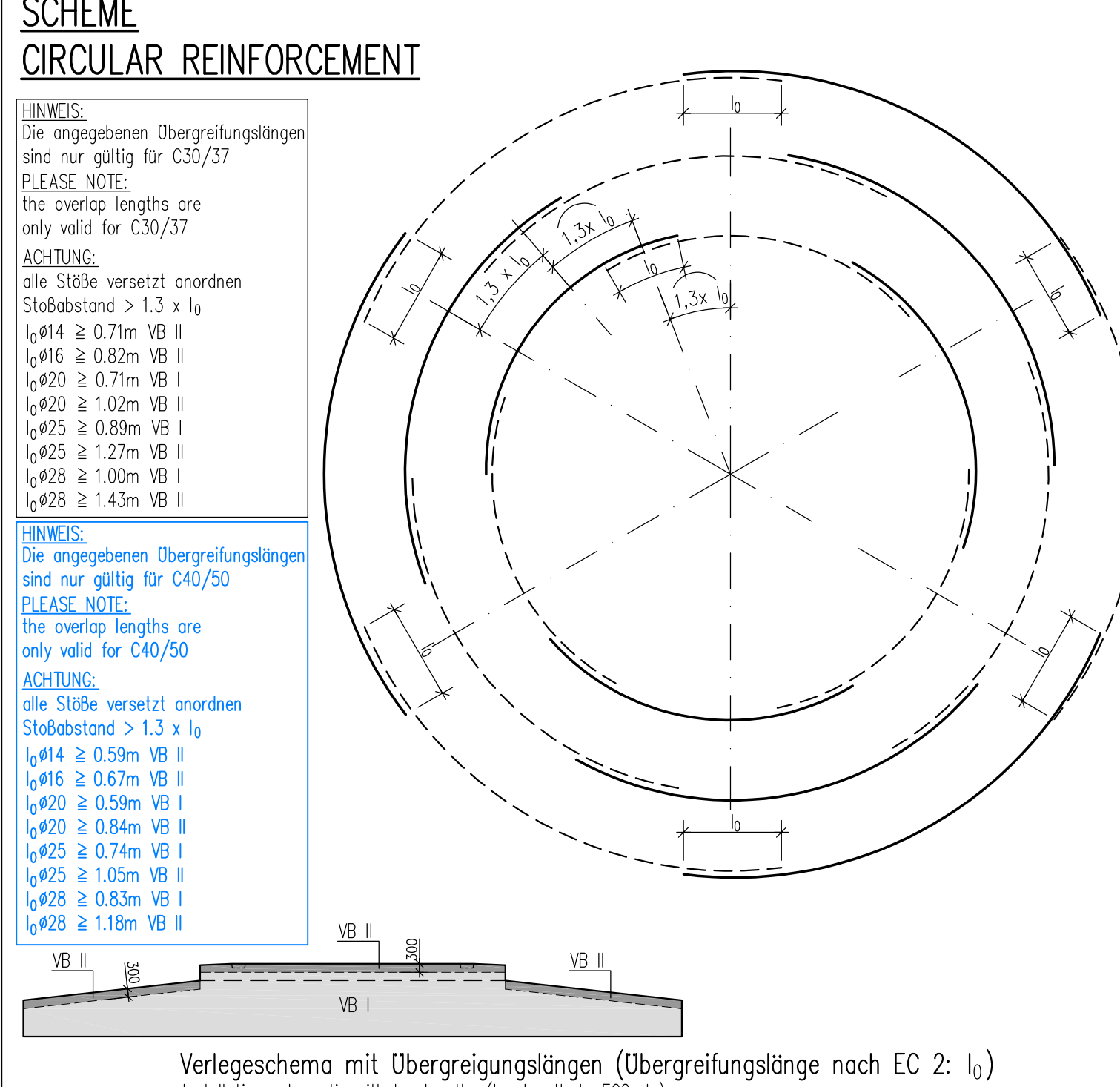
Bewehrung Sockel oben 1 bis 5 Lage

Bewertung: Sockel oben 1. bis 5. Lage
Reinforcement bars above 1. to 5. layer



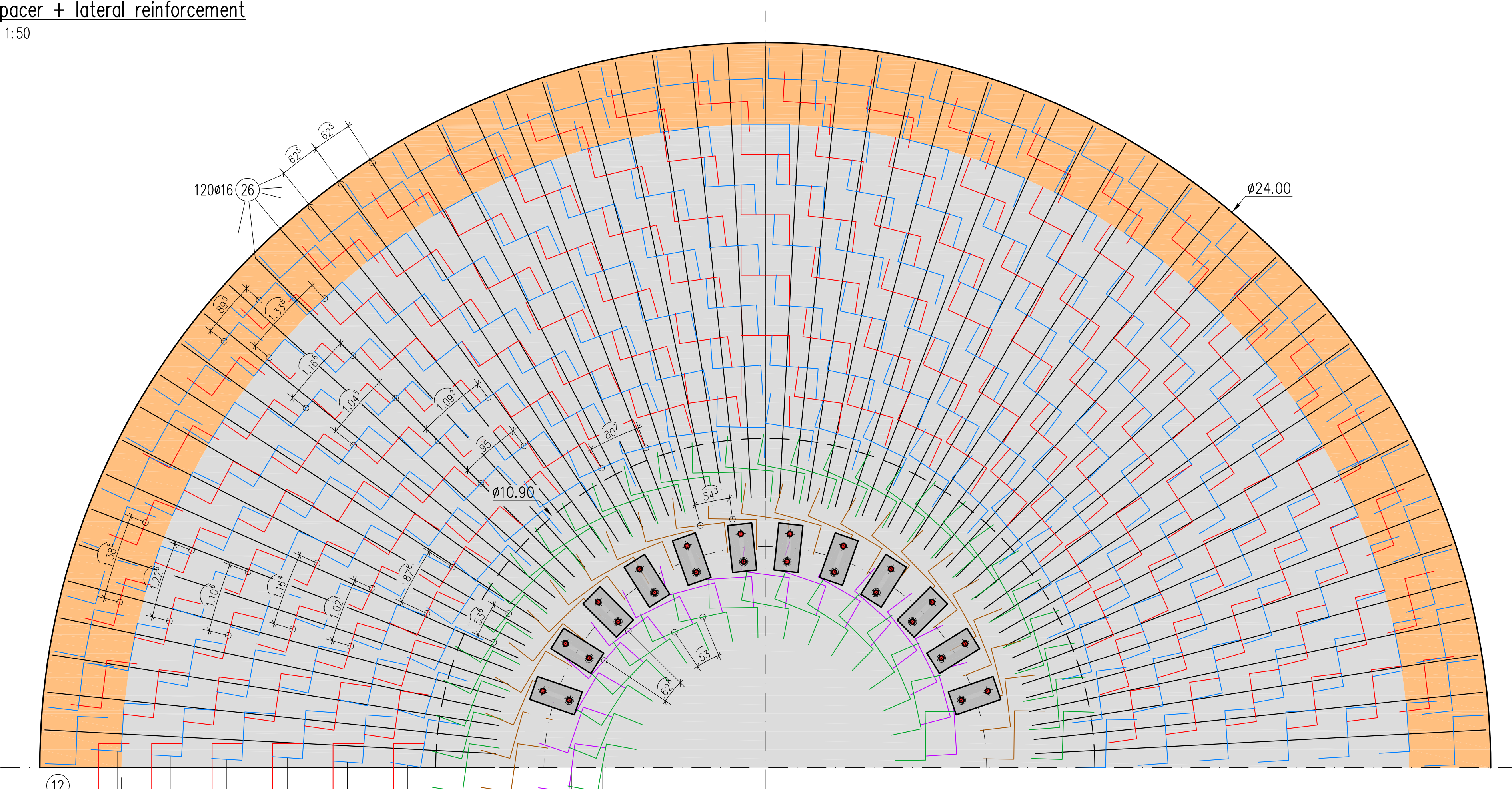
SCHEMA KREISBEWEHRUNG

SCHEMA KREISBEWEISUNG



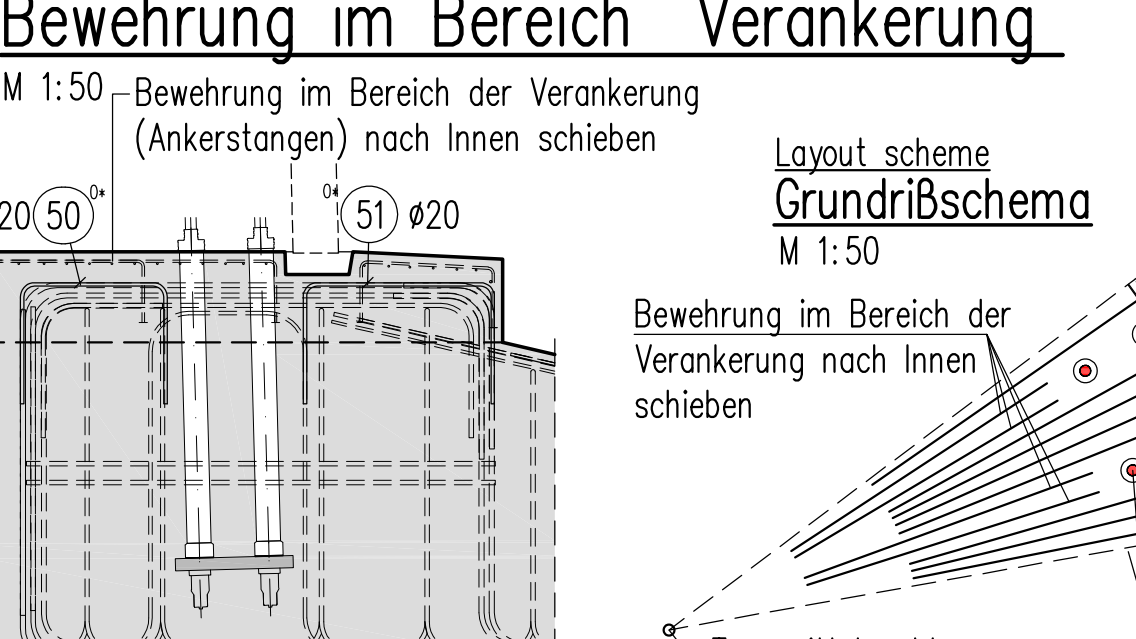
1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.

Abstandhalter + Querkraftbewehrung

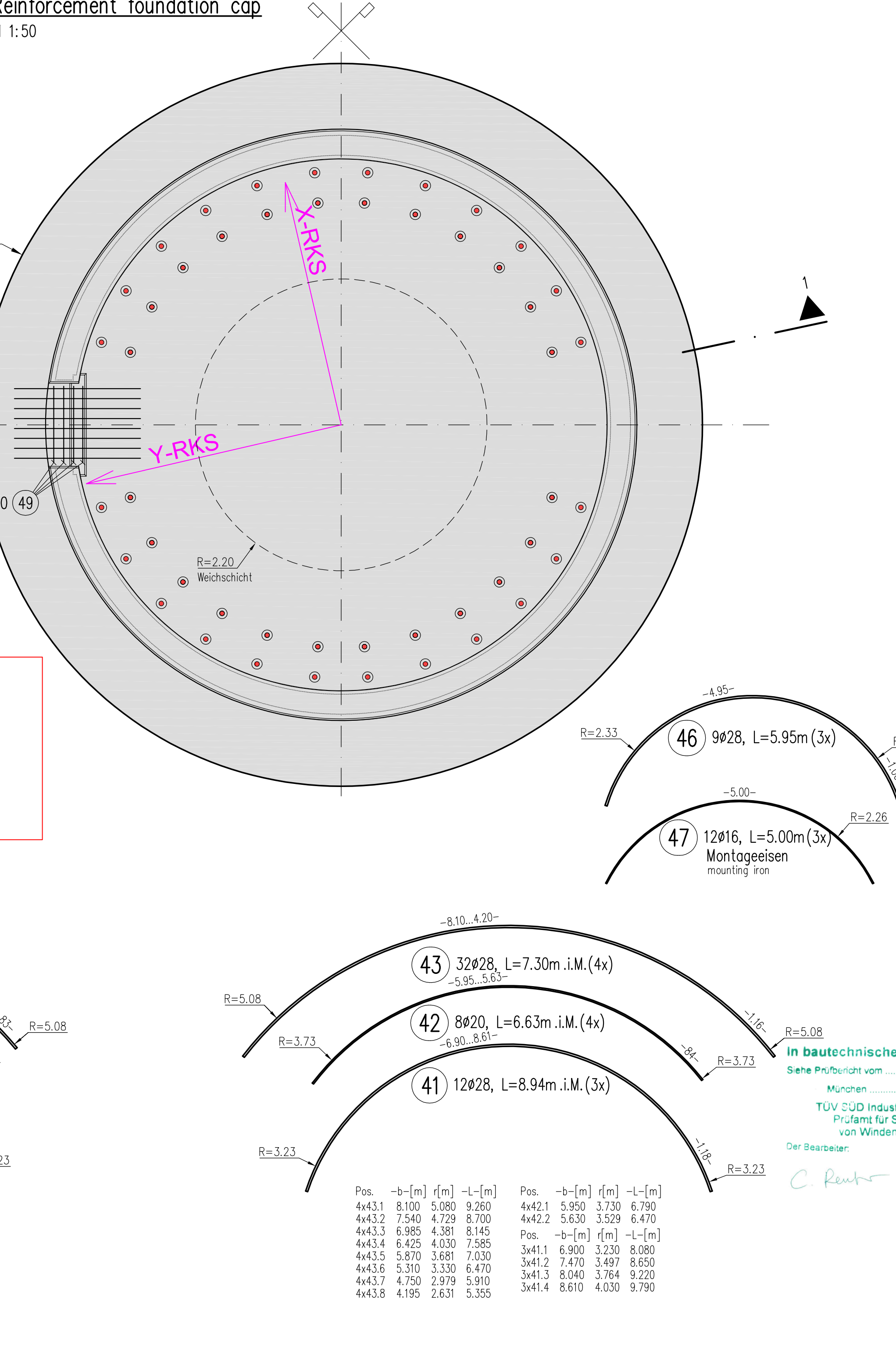


D. J. C. J. J. H. G. H. A. J. J. H.



Reinforcement in the area of Anchor bars






Bewehrung Fundamentkopf

Bewertung Fundamentkopi

STÄHLICHE BEWEHRUNGSTEILE Betonstahl 500808									
Pos.	Stk.	Größe	Stk.	014	016	020	025	D	
1	12x10	9.900,000							900.000
2	10x15	8.620							1034,400
3	12x12	12.020							1.596
4	12x12	12.020							147
5	24x12	1.290							433,600
6	13x15	9.770							1.319,680
7	24x12	7.750							3241
8	44x28	7.270							316
9	24x12	7.750							1.319,680
10	12x12	11.710							1.428
11	12x20	6.710							820,250
12	24x12	2.940							235,200
13	50x10	3.110							154,500
14	24x12	3.280							260,160
15	20x10	3.850							801,840
16	50x10	3.540							1.530,000
17	80x28	6.380							574,200
18	90x28	6.380							316,080
19	48x25	6.550							510
20	24x12	4.500							251,200
21	36x16	5.050							189,540
22	24x12	4.500							271,200
23	24x12	10.470							1.250,880
24	24x12	2.120							300
25	8x28	4.600							376
26	8x28	8.880							966,600
27	72x20	9.750							782,000
28	72x20	9.750							388,150
29	42x25	10.010							421,890
30	42x25	10.010							350
31	12x16	8.120							461,400
32	12x16	7.620							790,800
33	12x16	6.250							991,000
34	88x25	4.440							400,320
35	24x12	4.070							350,160
36	32x28	6.090							51,040
37	24x12	7.750							859
38	12x20	7.090							27,500
39	24x12	6.250							545
40	88x28	3.540							311
41	88x28	8.950							107
42	24x12	6.620							53,040
43	24x12	7.750							233
44	88x28	3.540							33
45	88x28	8.420							566
46	7x25	5.600							57
47	24x12	5.600							60.000
48	8x14	1.900							15.200
49	24x12	2.250							9.400
50	24x20	2.570							61.680
51		2.865							137.320
* in m³ incl.									
Gesamtlinen									
g			900.000		319.490		2726.230		
g			010 016	116	158	282	8730		
g			220	330	432	794			
Gesamtlinen									
g			24.600		5139,950				
g			314	11	218	820	470	3208	4
g			29	2766	12.005	1030			
Gesamtgewicht (kg)									
g			87263,974						

<p>Bioge- und Verlegeanweisung Bending- und installation instruction <i>nach/according: EC2 + NA</i></p>			
<p>Mindestbiegerdurchmesser / minimum mandrel diameter</p>			
 <p>Stablenormung steel bar</p>	<p>100 mm</p>	 <p>100 mm</p>	<p>100 mm</p>

Befestigung nach DIN 1024 zu Tabelle 1			
	$> 100 \text{ mm}$ und $> 1 \times$ $> 80 \text{ mm}$ und $> 1 \times$ $< 80 \text{ mm}$ und $< 1 \times$	$d_{\text{min}} = 110 \text{ mm}$ $d_{\text{min}} = 110 \text{ mm}$ $d_{\text{min}} = 100 \text{ mm}$	Winkelbohrer hoch
	$> 100 \text{ mm}$ und $> 1 \times$ $> 80 \text{ mm}$ und $> 1 \times$ $< 80 \text{ mm}$ und $< 1 \times$	$d_{\text{min}} = 110 \text{ mm}$ $d_{\text{min}} = 110 \text{ mm}$ $d_{\text{min}} = 100 \text{ mm}$	Schraube tief

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

[illegible]

ZUGEHÖRIGE PLÄNE		ASSOCIATED DRAWINGS
AN NR.:	Planbezeichnung	
E_F21_001_XX_X_Ubersicht	Übersichtspl. Gesamtumr.	layout complete lower
E_F21_004_XX_X_Erdung	Erdung für Fundament	grounding for foundation
E_F21_005_XX_X_Schalplan	Schalplan Fundament	formwork plan foundation
E_F21_081_XX_X_Schalplan	Übersicht Leerrohraustritt und Ausparung	layout pipe penetration a

ENERCON Wärdturbine E-160 EPS-4TH-160d-5-G-01 D8B-212 V02 S-REC-V08 BA-B		ENERCON värdturbine E-160 EPS-4TH-160d-5-G-01 D8B-212 V02 S-REC-V08 BA-B	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
13		13	
14		14	
15		15	
16		16	
17		17	
18		18	
19		19	
20		20	
21		21	
22		22	
23		23	
24		24	
25		25	
26		26	
27		27	
28		28	
29		29	
30		30	
31		31	
32		32	
33		33	
34		34	
35		35	
36		36	
37		37	
38		38	
39		39	
40		40	
41		41	
42		42	
43		43	
44		44	
45		45	
46		46	
47		47	
48		48	
49		49	
50		50	
51		51	
52		52	
53		53	
54		54	
55		55	
56		56	
57		57	
58		58	
59		59	
60		60	
61		61	
62		62	
63		63	
64		64	
65		65	
66		66	
67		67	
68		68	
69		69	
70		70	
71		71	
72		72	
73		73	
74		74	
75		75	
76		76	
77		77	
78		78	
79		79	
80		80	
81		81	
82		82	
83		83	
84		84	
85		85	
86		86	
87		87	
88		88	
89		89	
90		90	
91		91	
92		92	
93		93	
94		94	
95		95	
96		96	
97		97	
98		98	
99		99	
100		100	

Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-160 EP5 E3

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 616 205 D Rev. 0

Anlagenspezifikation:

Bezeichnung:	ENERCON E-160 EP5 E3
Rotorblatt:	LM 78.3 P
Max. Nennleistung:	5.56 MW
Nabenhöhen:	166.6 m

Standortspezifikation:

Windzonen:	S
Geländekategorie:	GK S

Anlagenhersteller (Kunde): ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

Diese Zusammenstellung umfasst 5 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	30.11.2021	Erstausgabe	K. Götz

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Lastannahmen	3
1.2	Sicherheitssystem und Handbücher.....	3
1.3	Elektrische Komponenten und Blitzschutz	3
1.4	Rotorblatt.....	3
1.5	Maschinenbauliche Komponenten	4
1.6	Verkleidungen und Strukturen.....	4
1.7	Turmkopfflansch.....	4
2	Prüfgrundlagen	4
3	Durchgeführte Prüfungen.....	4
3.1	Prüfmethode.....	4
4	Hinweise, Auflagen und Bedingungen	5
5	Zusammenfassung	5

1 Dokumente

1.1 Lastannahmen

- [1.1.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P,
NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S -
Lastannahmen für Turm und Fundament -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 201 822-1 D I
Rev. 1, vom 05.10.2021
- [1.1.2] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P,
NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 201 822-1 D IV
Rev. 0, vom 29.10.2021

1.2 Sicherheitssystem und Handbücher

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage ENERCON EP5 Plattform
nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)
- Sicherheitssystem und Handbücher -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 201 822-2 D
Rev. 0, vom 26.11.2021

1.3 Elektrische Komponenten und Blitzschutz

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage ENERCON EP5 Plattform
- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8114 242 475-5 D
Rev. 6, vom 25.11.2021

1.4 Rotorblatt

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage ENERCON EP5,
unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen - Rotorblatt LM 78.3 P -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8118 796 497-3 D
Rev. 4, vom 01.11.2021

1.5 Maschinenbauliche Komponenten

- [1.5.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen
ENERCON EP3 - Maschinenbauliche Komponenten -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 201 822-4 D
Rev. 0, vom 26.11.2021

1.6 Verkleidungen und Strukturen

- [1.6.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON EP5 - Verkleidungen & Strukturen -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 201 822-12 D
Rev. 0, vom 26.11.2021

1.7 Turmkopfflansch

- [1.7.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3,
verschiedene Nabenhöhen und Windzonen - Turmkopfflansch -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 616 205-11 D
Rev. 1, vom 29.11.2021

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 IEC 61400-1:2019-12
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019)
Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019

3 Durchgeführte Prüfungen

3.1 Prüfmethode

Die unter Kapitel 1 aufgelisteten Gutachtlichen Stellungnahmen wurden bzgl. Übereinstimmung mit der geforderten Anlagenvariante sowie der Zugrundelegung der geforderten Prüfgrundlagen 2 überprüft.

Eine Schnittstellenprüfung ist nicht Teil dieser Zusammenstellung.

4 Hinweise, Auflagen und Bedingungen

Abweichend von den in der DIBt [2.1] genannten technischen Anforderungen wurde die DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.2] verwendet.

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

Die Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 kann gemäß [1.5.1] optional mit Leitschaufeln für die Generatorkühlung ausgestattet werden.

5 Zusammenfassung

Die Gutachtlichen Stellungnahmen unter Kapitel 1 wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen der Prüfgrundlagen unter Kapitel 2 für die Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 erstellt.


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

Sachverständige:

A handwritten signature in blue ink, reading "Katja Götz".

Dipl.-Technomath. Katja Götz

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, reading "Dr. rer. nat. Federica Messer".

Dr. rer. nat. Federica Messer

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3
RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01)
DIBt WZ S, GK S**

- Lastannahmen für Turm und Fundament -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D I Rev.1

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01) bezüglich der DIBt (2012) Windzone S, Geländekategorie S

Anlagenhersteller (Antragsteller): ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Germany

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	01.10.2021	Erste Fassung	Simon Wiedemann
1	05.10.2021	Korrektur der Fundamenteinspannung in Tabelle 4.7	Simon Wiedemann

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	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells	7
5	Durchgeführte Prüfungen.....	9
5.1	Prüfmethode.....	9
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Prüfergebnis.....	10
5.4	Schnittstellen.....	10
6	Auflagen.....	11
7	Schlussfolgerung	11

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Turm,
“Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower, E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor, blade LM783P_2P as per DIBt and IEC ed. 4”
Dokument-Nr.: D02406103_4.0
Rev. 4, Datum: 01.10.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Zeitreihen, Windfelder, Controller (elektronisch erhalten),
Dateiname E-160_EP5_E3_HT-166-ES-C-01
Eingangsdatum: 09.2021
- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen E160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01,
“Stellungnahme Abteilung Lastsimulation, Drehzahlbereiche”
Dokument-Nr: D02487099-0
Rev. 0, Datum: 23.09.2020
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Lastfallbeschreibung E-160 EP5 E3,
“Loadcase description EP5”
Dokument-Nr.: D1004865_4.0
Rev. 4, Datum: -
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
Stellungnahme für die verteilten Turbulenzintensitäten,
“Technical report, Application and interpretation of the distributed turbulences method according to IEC 61400-1”
Dokument-Nr: D02385954/0.4
Rev. 0.4, Datum: 22.06.2022

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] International Standard IEC 61400-1:
"Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements", Edition 4.0, 2019-02

3 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung der Windenergieanlage (WEA) E-160 EP5 E3, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Einspannungen des Turmfußes und des Fundaments in Tabelle 4.7 korrigiert.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt [2.1] - [2.2] in Kombination mit der IEC 61400-1 ed.4 [2.3] durchgeführt. Spezielle Vereisungsbedingungen (Icing climate) wurden anhand der Anforderungen der IEC 61400-1 ed.4 [2.3] berücksichtigt.

Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] und IEC 61400-1 ed.4 [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. Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] genannten technischen Anforderungen IEC 61400-1 Edition 2 oder 3, wurde hier IEC 61400-1 Edition 4 [2.3] verwendet.

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.

Die Markov Matrizen für den Turm, referenziert in [1.1.1] (D02407416_1.0\D02319414_2.0_de_Berechnung_Fatigue- a.ultimate loads; Tower; E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01\), sind zwischen Revision 0 und 4 von [1.1.1] nicht verändert worden. Auch die Extremlasten haben sich nicht geändert zwischen Revision 0 und 4 von [1.1.1] (D02407416_1.0\D02319414_2.0_de_Berechnung_Fatigue- a.ultimate loads; Tower; E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01.xlsx). Korrigierte abdeckende DELs sind in Revision 4 von [1.1.1] referenziert (D02407416_1.0\D02319414_2.0_MM_Highest_DELs.xlsx).

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:

	DIBt WZ S GK S and IEC ed.4 class S	
	Fatigue and Extreme	Additional for Fatigue
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit V_{ave}	7.5 m/s	8.5 m/s

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

	DIBt WZ S GK S and IEC ed.4 class S	
	Fatigue and Extreme	Additional for Fatigue
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit V_1 (10 Minuten Mittelwert)	30 m/s	-
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit V_{50} (10 Minuten Mittelwert)	37.5 m/s	-
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s I_{ref}	0.16	0.14
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	-
Höhenexponent α (für EWM)	0.2 (0.11)	0.2 (-)
Upflow	8°	

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe 166.66 m

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität pro Windgeschwindigkeit angenommen.

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 und Anlagendaten zu Grunde gelegt:

Umgebungsbedingungen	
Umweltbedingungen	Normales Klima Kaltes Klima (Vereisungsklima)
Normaler Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C
Extremer Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C
Anlagendaten	
Betriebs-Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C
Überlebens-Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C
Annahmen für Vereisungsklima	Berücksichtigt nach DIBt [2.1] - [2.2] und IEC ed.4 Vereisungsklima [2.3]
Netzausfälle	20 Ausfälle/Jahr
Low Voltage Ride Through	Berücksichtigt durch Chopper für Events bis 2 Sekunden

Auslegungslbensdauer	20 Jahre ($I_{ref} = 0.16$, $V_{ave} = 7.5$ m/s) oder 25 Jahre ($I_{ref} = 0.14$, $V_{ave} = 8.5$ m/s)
----------------------	---

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen und dazugehörige Anlagendaten

Alle weiteren Umgebungsbedingungen werden mit den in [2.1] - [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-160 EP5 E3 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	5500 kW
Turmtyp	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
Turmhöhe (inklusive 2.4 m Fundamenthöhe)	164.749 m
Nabenhöhe	166.66 m
Rotorblatt	LM 78.3 P
Rotorblattlänge (exkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	78.18 m
Rotorblattmasse (inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	24753 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	601304 kgm
Blattanbauten	Serrations, T-Spoilers, Vortex Generators
Nominaler Rotordurchmesser	159.988 m
Rotordurchmesser (inkl. Konus)	159.379 m
Rotorachsneigung	6°
Rotor-Konuswinkel	5° upwind
Rotornenndrehzahl n_r	9.4 U/min
Rotorsolldrehzahl n_s^2	9.4 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	2.6 – 10.79 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant Hz
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	2.5 - 28 m/s
Nennwindgeschwindigkeit v_r	12 m/s

² Drehzahl auf die im Vollastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

³ Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

Reglerfunktionen	Sturmabschaltung, Turm Schwingungsüberwachung (EP5-CS-03)
Identifikationsnummer: Anlage	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-160 EP5 E3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	D02407195_0.0_de_Berechnung_Bladed model.zip MD5-Prüfsumme: 778ca632db7393543787d193ee9516e1	
Aerodynamische Profile	Profilname	t/c-Verhältnis [%]
	D02407195_0.0_de_Berechnung_Bladed model.zip MD5-Prüfsumme: 778ca632db7393543787d193ee9516e1	18.1% - 100 %
Turmstruktur	weich und starr: D02407195_0.0_de_Berechnung_Bladed model.zip MD5-Prüfsumme: 778ca632db7393543787d193ee9516e1	
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5-Prüfsumme: 6136dfcfcabc58c7a9d177baabd4c669 Controller Input: EP5_E160_E3_E-160_EP5_E3_HT_166_FB_C_01_0.5.21.0.Daten MD5-Prüfsumme: 47c9f2d1e46e7d5a60209a9afde8fb5c	

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	6319.5 kgm
Fehler des Blattanstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3)	0°; -0.3°; +0.3°

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern und Änderungen der Aerodynamik der Rotorblätter werden gemäß den Anforderungen der DIBt [2.1] und IEC ed.4 [2.3] zusätzlich konservativ für die Lastannahmen berücksichtigt.

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

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	200 000 MNm/rad / 2 000 000 MNm/rad (6P) / zusätzlich für Ermüdungslasten: starr

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

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

Komponente		Randbedingungen	Frequenz
Blatt, Biegung flapwise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.462 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.259 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.763 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.290 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.177 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.770 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.176 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.732 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.184 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.857 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.183 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.806 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.188 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.883 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.186 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.828 Hz

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-160 EP5 E3, LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01)

Die gekoppelten Eigenfrequenzen sind grafisch im Campbell-Diagramm in [1.1.1] dargestellt.

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethode

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

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

Die Definition der Designlastfälle wurde auf Konformität mit der Richtlinie [2.1] - [2.3] überprüft.

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

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

5.2 Anmerkungen

- 5.2.1. Im Fall von signifikanten, lastrelevanten Änderungen der zur Lastrechnung verwendeten Eingangsparameter wie z.B. strukturelle Modelldaten, Annahmen bzgl. der Aerodynamik, Reglerparameter kann eine Neuberechnung der Lasten erforderlich sein.
- 5.2.2. 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] - [1.2.4] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoordinationssystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden konservative berücksichtigt nach [2.1] - [2.3].
- 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. Bei Verwendung der Lastannahmen [1.1.1] für eine modifizierte Turmhöhe, wie in Kapitel 3 beschrieben, müssen Turm- und Fundamentlasten extrapoliert werden.
- 5.4.10. Die Bezeichnungen E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 und E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 sind als gleichbedeutend zu verstehen. Siehe dazu auch [1.1.1].
- 5.4.11. Die bereits mit Revision 0 geprüften und mit Datum 01.10.2021 gestempelten Unterlagen behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

6 Auflagen

- 6.1 Bei Abweichungen von mehr als $\pm 5\%$ von der 1. Turmeigenfrequenz (siehe Tabelle 4.8 zum Abgleich ungekoppelter Eigenfrequenzen bzw. [1.1.1] zum Abgleich gekoppelter Eigenfrequenzen) des in der Lastberechnung verwendeten Modells sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich.
- 6.2 Es ist gesondert nachzuweisen, dass die gerechneten Fehlerzustände der Lastfälle DLC 2.1 - DLC 2.5 [1.2.3] den in der anlagenspezifischen FMEA identifizierten Szenarien entsprechen.

7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] aufgeführten Lastannahmen für den Turm und das Fundament für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), beschrieben in den Kapiteln 3, 4 und 5, sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Kapitel 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

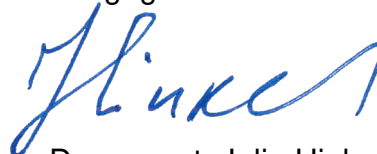
Die Anforderungen der Richtlinien [2.3] bzgl. Icing Climate wurden zusätzlich berücksichtigt.

Sachverständiger:



M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:



Dr. rer. nat. Julia Hinkel

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3
RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01)
DIBt WZ S, GK S**

- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV Rev.0

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01) bezüglich der DIBt (2012) Windzone S, Geländekategorie S

**Anlagenhersteller
(Antragsteller):** ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Germany

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	29.10.2021	Erste Fassung	Nils Kägeler

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen	4
3	Einleitung	4
4	Beschreibung der Windenergieanlage	6
4.1	Umgebungsbedingungen	6
4.2	Sicherheitsklasse	7
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells	7
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Prüfergebnis.....	10
5.4	Schnittstellen.....	11
6	Auflagen.....	11
7	Schlussfolgerung	12

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

[1.1.1] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Maschinenbaulasten,
"Load report, Machine E-160 EP5 E3, Covering fatigue and extreme loads for the E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P_2P as per DIBt and IEC"
Dokument-Nr.: D02463290_3.0
Rev. 3.0, Datum: 27.10.2021

[1.1.2] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Rotorblattlasten,
"Load report, Rotor blade LM783P_2p, Covering operating and extreme loads for the Rotor blade LM783P_2P with Machine E-160 EP5 E3 as per DIBt and IEC"
Dokument-Nr.: D02463292_2.2
Rev. 2.2, Datum: 27.10.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

[1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis,
„Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations“
Dokument-Nr.: D02274524_1.0
Rev. 1.0, Datum: 22.10.2021

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

[1.2.2] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01,
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5-E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D I
Rev. 1, Datum: 05.10.2021

[1.2.3] ENERCON GmbH:
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen E160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01,
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche"
Dokument-Nr: D02487099-0
Rev. 0, Datum: 23.09.2020

[1.2.4] ENERCON GmbH:

Lastfallbeschreibung E-160 EP5 E3,

“Loadcase description EP5”

Dokument-Nr.: D1004865_4.0

Rev. 4, Datum: -

[1.2.5] ENERCON GmbH:

Stellungnahme für die verteilten Turbulenzintensitäten,

“Technical report, Application and interpretation of the distributed turbulences method according to IEC 61400-1”

Dokument-Nr: D02385954/0.4

Rev. 0.4, Datum: 22.06.2022

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] International Standard IEC 61400-1:

“Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements”, Edition 4.0, 2019-02

3 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung für Maschinenbau- und Rotorblattlasten der Windenergieanlage (WEA) E-160 EP5 E3, welche im folgenden Kapitel und den Gutachtliche Stellungnahme der Turmlasten [1.2.2] genauer beschrieben sind.

Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] beinhalten hierbei die Lasten verschiedener Nabenhöhen. Eine genaue Beschreibung der WEA inkl. Turm und Fundament ist in der Gutachtliche Stellungnahme der Turmlasten [1.2.2] zu entnehmen. Die diesem Bericht zugrundeliegende Nabenhöhe basiert auf unterschiedlichen Umgebungsbedingungen. Die entsprechenden Werte sind hierfür der Gutachtlichen Stellungnahme [1.2.2] zu entnehmen.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt [2.1] - [2.2] in Kombination mit der IEC 61400-1 ed.4 [2.3] durchgeführt. Spezielle Vereisungsbedingungen (Icing climate) wurden anhand der Anforderungen der IEC 61400-1 ed.4 [2.3] für die Nabenhöhe in [1.2.2] berücksichtigt.

Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] und IEC 61400-1 ed.4 [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. Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] genannten technischen Anforderungen IEC 61400-1 Edition 2 oder 3, wurde hier IEC 61400-1 Edition 4 [2.3] verwendet.

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.

Die Ergebnisse für Rotorblatt und Maschinenbau - referenziert in [1.1] - werden lediglich für die Nabenhöhe und Windbedingungen referenziert in [1.2] bestätigt.

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%

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

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.
- Änderungen sowie Abweichungen an der Auslegung des Rotorblattes, sofern folgende Bedingungen eingehalten werden:
 - Abweichungen der ersten Rotorblatteigenfrequenz um bis zu $\pm 5\%$
 - Abweichungen des Massenmoments um bis zu $\pm 3\%$

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Umgebungsbedingungen

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

	DIBt WZ S GK S and IEC ed.4 class S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit V_{ave}	siehe [1.2.2]
Formparameter der Weibull-Funktion k	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit V_1 (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2]
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit V_{50} (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2]
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s I_{ref}	siehe [1.2.2]
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s
Höhenexponent α (für EWM)	0.2 (0.11)
Upflow	8°

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität pro Windgeschwindigkeit angenommen.

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	≤ 0.000
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	≤ 0.000

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

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

Umgebungsbedingungen	
Umweltbedingungen	Normales Klima Kaltes Klima (Vereisungsklima)
Normaler Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C
Extremer Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C
Anlagendaten	
Betriebs-Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C
Überlebens-Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C
Annahmen für Vereisungsklima	Berücksichtigt nach DIBt [2.1] - [2.2] und IEC ed.4 Vereisungsklima [2.3]
Netzausfälle	siehe [1.2.2]
Low Voltage Ride Through	Berücksichtigt durch Chopper für Events bis 2 Sekunden
Auslegungslbensdauer	siehe [1.2.2]

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen und dazugehörige Anlagendaten

Alle weiteren Umgebungsbedingungen werden mit den in [2.1] - [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-160 EP5 E3 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	5560 kW
Turmtyp	siehe [1.2.2]
Turmhöhe	siehe [1.2.2]

Nabenhöhe	siehe [1.2.2]
Rotorblatt	LM 78.3 P
Rotorblattlänge (exkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	78.18 m
Rotorblattmasse (inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	24753 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	601304 kgm
Blattanbauten	siehe [1.2.2]
Nominaler Rotordurchmesser	siehe [1.2.2]
Rotordurchmesser (inkl. Konus)	siehe [1.2.2]
Rotorachsneigung	6°
Rotor-Konuswinkel	5° upwind
Rotornenndrehzahl n_r	siehe [1.2.2]
Rotorsolldrehzahl n_s^2	siehe [1.2.2]
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	siehe [1.2.2]
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant Hz
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	2.5 - 28 m/s
Nennwindgeschwindigkeit v_r	12 m/s
Reglerfunktionen	Sturmabschaltung, Turm Schwingsüberwachung (EP5-CS-03)
Identifikationsnummer: Anlage	siehe [1.2.2]

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-160 EP5 E3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	D02407195_0.0_de_Berechnung_Bladed model.zip (siehe [1.2.2]) MD5-Prüfsumme: 778ca632db7393543787d193ee9516e1	
Aerodynamische Profile	Profilname	t/c-Verhältnis [%]
	D02407195_0.0_de_Berechnung_Bladed model.zip (siehe [1.2.2]) MD5-Prüfsumme: 778ca632db7393543787d193ee9516e1	18.1% - 100 %
Turmstruktur	siehe [1.2.2]	
Controller	siehe [1.2.2]	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

² Drehzahl auf die im Vollastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

³ Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

Massenexzentrizität des Rotors	6319.5 kgm
Fehler des Blattstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3)	0°; -0.3°; +0.3°

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern und Änderungen der Aerodynamik der Rotorblätter werden gemäß den Anforderungen der DIBt [2.1] und IEC ed.4 [2.3] zusätzlich konservativ für die Lastannahmen berücksichtigt.

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

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	siehe [1.2.2]

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	0.462 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.259 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.763 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.290 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2]

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-160 EP5 E3, LM 78.3 P

Die gekoppelten Eigenfrequenzen sind grafisch im Campbell-Diagramm in [1.1.1] dargestellt.

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethode

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

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

Die Definition der Designlastfälle wurde auf Konformität mit der Richtlinie [2.1] - [2.3] überprüft.

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

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

5.2 Anmerkungen

- 5.2.1. Im Fall von signifikanten, lastrelevanten Änderungen der zur Lastrechnung verwendeten Eingangsparameter wie z.B. strukturelle Modelldaten, Annahmen bzgl. der Aerodynamik, Reglerparameter kann eine Neuberechnung der Lasten erforderlich sein.
- 5.2.2. 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.
- 5.2.4. Die Ergebnisse für Rotorblatt und Maschinenbau - referenziert in [1.1] - werden lediglich für die Nabenhöhe und Windbedingungen referenziert in [1.2] bestätigt.

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] - [1.2.5] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoodinaten-systemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden konservative berücksichtigt nach [2.1] - [2.3].
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastbe-rechnung berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1]. Dies erfolgte bereits in der Prüfung der Turmlasten [1.2.2].
- 5.4.7. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lasten am Turm beinhalten die Einflüsse aus den vorhandenen Mas-senexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2. Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. Bei Verwendung der Lastannahmen [1.1.1] für eine modifizierte Turmhöhe, wie in Kapitel 3 beschrieben, müssen Turm- und Fundamentlasten extrapoliert werden.
- 5.4.10. Die Bezeichnungen E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 und E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 sind als gleichbedeutend zu verstehen. Siehe dazu auch [1.2.2].

6 Auflagen

- 6.1 Bei Abweichungen von mehr als ± 5 % von der 1. Turmeigenfrequenz (siehe Tabelle 4.8 zum Abgleich ungekoppelter Eigenfrequenzen bzw. [1.1.1] zum Abgleich gekoppelter Eigenfrequenzen) des in der Lastberechnung verwendeten Modells sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich.
- 6.2 Es ist gesondert nachzuweisen, dass die gerechneten Fehlerzustände der Lastfälle DLC 2.1 - DLC 2.5 [1.2.4] den in der anlagenspezifischen FMEA identifizierten Szenarien entsprechen.

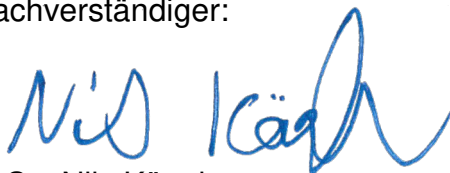
- 6.3 Es ist gesondert nachzuweisen, dass ein Chopper verbaut ist, der die überschüssige Energie bei einem Low Voltage Ride Through für mindestens 2 Sekunden aufnehmen kann.

7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] und [1.1.2] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), beschrieben in den Kapiteln 3, 4 und 5, sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Kapitel 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Die Anforderungen der Richtlinien [2.3] bzgl. Icing Climate wurden für die Nabenhöhe in [1.2.2] zusätzlich berücksichtigt.

Sachverständiger:

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

M.Sc. Nils Kägeler

Freigegeben:

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

Dr. rer. nat. Julia Hinkel

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlagen ENERCON EP5 Plattform nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

- Sicherheitssystem und Handbücher -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-2 D Rev.0

Prüfgegenstand: Konzeptprüfung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher für die Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Dokumentation: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Lagerwey Wind BV
Nijverheidsplein 21
3771 MR Barneveld
Niederlande

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	26.11.2021	Erstausgabe	Thomas Zacher

Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen	3
1.1	Geprüfte Unterlagen	3
1.2	Zugehörige Unterlagen	6
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einführung	7
4	Beschreibung der Windenergieanlage	7
4.1	Turbinen Konfiguration	7
4.2	Temperaturvariante	8
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	8
4.4	Mechanische Bremse	9
4.5	Laufzeitverlängerung	9
5	Durchgeführte Prüfung	9
5.1	Prüfmethodik	9
5.2	Anmerkungen	10
5.2.1	Haftungsausschluss	10
5.2.2	Gültigkeit der Dokumente	10
5.2.3	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)	10
5.3	Prüfergebnisse	10
5.3.4	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	10
5.3.5	Qualitätssicherung	10
5.3.6	Performance Level	10
5.3.7	Cyber Security	11
5.3.8	Mechanische Bremse	11
5.3.9	Handbücher	11
5.4	Schnittstellen	11
6	Auflagen und Hinweise	12
7	Schlussfolgerung	13

1 Eingereichte Unterlagen

1.1 Geprüfte Unterlagen

Betriebsführung- und Sicherheitssystem

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
"Technical description ENERCON E-160 EP5 E3 wind energy converter"
Dok. ID: D02225927/4.0-en
Rev. 4, Datum: 2021-08-23
- [1.1.2] ENERCON GmbH:
"Betriebsanleitung, Beschreibung und Bedienung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02415262/0.2-de
Rev. 2, Datum: 2021-07-21
- [1.1.3] Lagerwey Wind BV:
"EP5-E3 Description Operation and Safety System"
Dok. ID: M00-C2-40-050403-R1
Rev. 1, Datum: 2021-11-16
- [1.1.4] Lagerwey Wind BV:
"EP5-E3 Control system safety"
Dok. ID: M00-C2-40-050404-R1
Rev. 1, Datum: 2021-11-10
- [1.1.5] Lagerwey Wind BV:
"EP5 Safety System Components"
Dok. ID: M00-C2-30-050338-R0
Rev. 0, Datum: 2020-02-04
- [1.1.6] Lagerwey Wind BV:
"EP5 E160 E3 EP5-E3-ST-98-FB-C-01 Parameters for CS and SS relevant to loadset and shutdown"
Dok. ID: M00-C2-30-050475-R0
Rev. 0, Datum: 2021-10-25
- [1.1.7] Lagerwey Wind BV:
"EP5 E160 E3 EP5-E3-HST-114-FB-C-01 Parameters for CS and SS relevant to loadset and shutdown"
Dok. ID: M00-C2-30-050474-R0
Rev. 0, Datum: 2021-10-25
- [1.1.8] Lagerwey Wind BV:
"EP5 E160 E3 EP5-E3-HT-166-FB-C-01 Parameters for CS and SS relevant to loadset and shutdown"
Dok. ID: M00-C2-30-050472-R0
Rev. 0, Datum: 2021-10-25

- [1.1.9] Lagerwey Wind BV:
"Wind Turbine Control Check"
Dok. ID: M00-C2-40-050102-R4
Rev. 4, Datum: 2021-08-26
- [1.1.10] Lagerwey Wind BV:
"EP5 WTG Safety System FMEA"
Dok. ID: M00-C2-40-050305-R1
Rev. 1, Datum: 2021-07-27
- [1.1.11] Lagerwey Wind BV:
"EP5 E3 Yaw System FMEA"
Dateiname: D02487311_0.0-en EP5 E3 Yaw System FMEA.xlsx
Datum: 2021-09-27
- [1.1.12] Lagerwey Wind BV:
"Design-FMEA TBCU E-160 EP5 E3"
Dateiname: D02331770_1.0-de Design-FMEA TBCU E-160 EP5 E3.xlsx
Datum: 2021-10-08
- [1.1.13] Lagerwey Wind BV:
"Safety and Function Test"
Dok. ID: M00-C2-30-050094-R6
Rev. 6, Datum: 2021-09-29
- [1.1.14] Lagerwey Wind BV:
"Functional turbine specification E-160 EP5 E3"
Dok. ID: M00-C2-30-10988-R1
Rev. 1, Datum: 2021-10-21
- [1.1.15] Lagerwey Wind BV:
"Software quality assurance plan"
Dok. ID: M00-C2-30-050145-R3
Rev. 3, Datum: 2021-01-28
- [1.1.16] Lagerwey Wind BV:
"Finite State Machine"
Dok. ID: M00-C2-30-050073-R13
Rev. 13, Datum: 2021-09-10
- [1.1.17] Lagerwey Wind BV:
"Parameter structure description"
Dok. ID: M00-C2-30-050073-R13
Rev. 8, Datum: 2020-09-24
- [1.1.18] ENERCON GmbH:
"Vergleichbarkeit der Safety-Systeme der EP5-Plattform mit der E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02500043/2.0-de / TC
Datum: 2021-10-28

Handbücher

- [1.1.19] ENERCON GmbH:
"Verladehandbuch EP5"
Dok. ID: D02109115/2.0
Rev. 2, Datum: 2021-10-08
- [1.1.20] ENERCON GmbH:
"Verladehandbuch Stahltürme (ST/MST/HST)"
Dok. ID: PLM-TES-DC026-VH_Stahlurm-Rev002de-de/
Rev. 2, Datum: 2020-09-12
- [1.1.21] ENERCON GmbH:
"Inbetriebnahmeanleitung, Inbetriebnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02402539 2
Rev. 0, Datum: 2021-06-18
- [1.1.22] ENERCON GmbH:
"Wartungsanleitung, Hauptwartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02406226 1
Rev. 1, Datum: 2021-08-31
- [1.1.23] ENERCON GmbH:
"Inbetriebnahmeanleitung, 300 h-Wartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02408552 1
Rev. 1, Datum: 2021-08-26
- [1.1.24] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Vormontage und Montage Gondel Windenergieanlage E-160 EP5 E3 Zertifizierungsanleitung"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-21-051 Rev000
Rev. 5, Datum: 2021-06-22
- [1.1.25] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montage Stahlrohrturm (ST) u.Stahlsektion (HT)"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-16-015 Rev004a
Rev. 4, Datum: 2021-03-18
- [1.1.26] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montageanleitung Hybridturm (HT)"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-15-001 Rev015
Rev. 15, Datum: 2020-06-18
- [1.1.27] ENERCON GmbH:
"Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften"
Dok. Nr.: BA_bl_1001-1_Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften_WEA-Service_Rev001_de-de
Rev. 1, Datum: 2019-12-12

- [1.1.28] ENERCON GmbH:
"Handbuch ENERCON Windpark Sicherheit, Sicherheit der Überwachung,
Fernsteuerung und Anbindung von Windparks"
Dok. ID: ESC_ENERCON Windpark Sicherheit_Rev000 de-de
Rev. 0, Datum: 2019-03-28

1.2 Zugehörige Unterlagen

- [1.2.1] Lagerwey Wind BV:
"Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations"
Dok. ID: M00-C2-30-10480 R13
Rev. 13, Datum: 2021-10-21
- [1.2.2] TÜV Rheinland Industrie Service GmbH:
"Certificate Product tested: Pitch Inverter for Wind Turbines"
Dokument Nr.: 968_FSP_1188_04_21
Datum: 2021-04-06
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
"Stellungnahme_Errichtungshandbücher"
Dok. ID: D0828100-4.0 / DZ
Datum: 2021-11-24
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
"Stellungnahme zu den Errichtungsphasen für den Stahlurm ST-98-FB-C-01"
Dok. ID: D02546796-1
Datum: 2021-11-26

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] Internationale Richtlinie IEC 61400-1:
"Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements", Edition 4.0,
2019-02

3 Einführung

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

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Turbinen Konfiguration

Die Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform sind dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 5560 kW. Die Turbinen funktionieren nach dem Prinzip variable Leistung durch Einzelblattverstellung. Die Turbinen sind getriebeles, mit einem direkt angetriebenen Generator. Das Hauptbremssystem ist die aerodynamische Bremsung durch die voneinander unabhängige axiale Drehung der einzelnen Rotorblätter, die in einem Bereich zwischen 0° und 90° bewegt werden können.

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

Typ	E-160 EP5 E3		
Windklasse	IEC III A, DIBt WZ S		
Nennleistung	5560 kW		
Rotorblatt (Durchmesser)	LM 78.3 P (160 m)		
Turmtyp (Nabenhöhe)	Stahlturm (ST) 98 m	Hybridturm (HT) 166 m	Hybrid Stahlturm (HST) 114 m
Nenndrehzahl Rotor	9.60 U/min	9.40 U/min	9.60 U/min
Drehzahlgrenze Betriebsführung	11.04 U/min	10.81 U/min	11.04 U/min
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem	12.00 U/min	11.75 U/min	12.00 U/min
Einschaltwindgeschwindigkeit	2.5 m/s		
Abschaltwindgeschwindigkeit	28 m/s (10 Minuten Mittelwert) Sturmregelung ab 25 m/s (12 Sekunden Mittelwert)		
Controller Hardware	Bachmann MC210		
Controller Softwareversion	EP5-CS-03		
Temperaturvariante	STW		

Generator	Direkt angetrieben
Pitchsystem	AC Motoren mit Kondensator für jedes Blatt
Mechanische Rotorbremse	Nur als Parkbremse
Design Lebensdauer	25 Jahre

4.1: Turbinen Konfiguration

4.2 Temperaturvariante

Die EP5 E3 Windenergieanlagen gibt es in folgender Temperaturvarianten:

Temperaturvariante:	Betriebstemperatur:	Überlebenstemperatur:
Standard Weather Edition (STW)	-10 °C bis +40 °C	-20 °C bis +50 °C

4.2: Temperaturvarianten

Die gültigen Temperaturvarianten für jede Konfiguration sind in Tabelle 4.1 zu finden.

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
- Generatorüberlastung oder –Fehler
- Kurzschluss
- Überwachung der Kabelverdrillung
- Überwachung des Betriebsführungssystems
- Überwachung des Pitchsystems

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.

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.

4.4 Mechanische Bremse

Die mechanische Scheibenbremse gewährleistet nur nach manueller Aktivierung einen vollständigen Stillstand des Rotors im Servicebetrieb. Im Falle eines Nothalts bleibt die Turbine im Trudelbetrieb.

4.5 Laufzeitverlängerung

Nach einer Betriebszeit von 20 Jahren müssen die 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 Komponenten der Sicherheitseinrichtungen dürfen nur neue oder gleichwertige (so gut wie neue) Teile verwendet werden.

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 Fehleranalysen [1.1.10], [1.1.11] und [1.1.12] wurde das Sicherheitssystem auf seine Fähigkeit, die Windenergieanlage bei Ausfall der Steuerung in einem sicheren Zustand zu halten überprüft. Mit [1.1.4] wurden die Performance Level der Schutzfunktionen gemäß den Anforderungen der EN ISO 13849-1 überprüft.

Der Pitchumrichter wurde separat zertifiziert [1.2.2].

Die lastrelevanten Parameter, z.B. Drehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeiten oder Pitchgeschwindigkeiten, sowie die Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden für die E-160 EP5 E3 Varianten auf Übereinstimmung mit den Annahmen aus der Lastrechnung überprüft.

Es wurde überprüft, ob die in [2.1] - [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

5.2.1 Haftungsausschluss

Wesentliche Änderungen an der geprüften Dokumentation bzw. am Betriebsführungs- und Sicherheitssystem sowie in den Handbüchern machen diesen Prüfbericht ungültig. Die Änderungen müssen TÜV NORD zur erneuten Bewertung vorgelegt werden.

5.2.2 Gültigkeit der Dokumente

Für die ENERCON E-160 EP5 E3 Windenergieanlagen wurden unterschiedliche Bezeichnungen verwendet [1.2.1]. Die Bezeichnung „E-160“ ist als gleichwertig mit „L160“ anzusehen sowie auch die Plattformbezeichnung „LP4“ gleichzusetzen ist mit „EP5“. Alle Dokumente in diesem Bericht mit diesen Bezeichnungen gelten für die ENERCON EP5 E3 Plattform.

5.2.3 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Die Fehlerlastfälle aus der FMEA werden gemäß den Anforderungen der IEC 61400-1 Edition 4 [2.2] berücksichtigt, dies wird in der Stellungnahme [1.1.18] von ENERCON bestätigt. Des Weiteren wurde überprüft, dass die Stellungnahme zur Übertragbarkeit der Fehlerlastfälle der IEC 61400-1 Edition 3 zur Edition 4 gültig ist.

5.3 Prüfergebnisse

5.3.4 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems ist geeignet den sicheren Betrieb der ENERCON E-160 EP5 E3 Windenergieanlagen, siehe Tabelle 4.1, zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

5.3.5 Qualitätssicherung

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der E-160 EP5 E3 zu verringern. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA). Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler sind in [1.1.10], [1.1.11] und [1.1.12] beschrieben.

5.3.6 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

- Schutz vor Überdrehzahl / aerodynamische Bremse
- Not stop
- Kabelverdrillung
- Übermäßige Vibration / Schock
- Generatorüberlastung oder -Fehler
- Kurzschluss
- Fehler im Pitchsystem
- Watchdog

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 [1.1.4] erreicht. Die Schutzfunktionen erfüllen die Anforderungen der EN ISO 13849-1.

5.3.7 Cyber Security

Die Fähigkeit Angriffe auf die Sicherheitsfunktionen mit hinsicht auf Cyber Security wurde durch die Cyber-Risikoanalyse und den definierten Maßnahmen [1.1.28] hinreichend demonstriert.

5.3.8 Mechanische Bremse

Das in 4.4 beschriebene Konzept ist geeignet, den Zugang von Personen zu drehenden Teilen in der Nabe zu verhindern. Ein Zugang ist nur bei arretiertem Rotor möglich. Die vorgestellten Maßnahmen sind als ausreichend zu bewerten und bieten eine sichere Arbeitsumgebung im Leerlauf nach Aktivierung eines Notaus-Tasters.

5.3.9 Handbücher

Die Handbücher und Checklisten für Transport, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung sind verfügbar und enthalten die erforderlichen Informationen in geeigneter Weise. Aufgrund eines laufenden Änderungsprozesses in der Dokumentation enthält das Turmerrichtungshandbuch [1.1.25] nicht die E-160 EP5 E3 und nicht alle Nabenhöhen. Mit der Stellungnahme [1.2.3] hat ENERCON die Gültigkeit des Handbuchs auch für die E-160 EP5 E3 mit ST 98 m erklärt. Die Errichtung der E-160 EP5 E3 mit dem HT 166 m ist in [1.1.26] beschrieben.

Sicherheitshinweise wurden für vorhersehbare Gefahren gegeben.

5.4 Schnittstellen

Die lastrelevanten Parameter, z.B. Drehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeiten oder Pitchgeschwindigkeiten, sowie die Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen aus der Lastrechnung für die Varianten der ENERCON E-160 EP5 E3 überprüft.

6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 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.
- 6.2 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 (mindestens 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 Windenergieanlage
 - Gesamtbetriebsstunden
 - Windgeschwindigkeit und Temperatur am Tag der Prüfung
 - Beschreibung des Prüfumfanges
 - Prüfergebnis und ggf. Auflagen
- Diese Dokumentation ist vom Betreiber über die gesamte Nutzungsdauer der WEA aufzubewahren.
- 6.3 Nach einer Betriebszeit von 20 Jahren müssen die 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).
- 6.4 Die Wartungswindgeschwindigkeit mit arretiertem Rotor muss entsprechend den Lastannahmen angepasst werden. Die Betriebsanleitung [1.1.2] ist nicht final gültig, die Wartungswindgeschwindigkeit mit arretiertem Rotor darf 15 m/s nicht überschreiten. Das überarbeitete finale Handbuch [1.1.2] muss vor Ausstellung des Typenzertifikates oder bevor die erste Wartung der Türme (siehe Tabelle 4.1) durchgeführt wird, dem TÜV NORD übermittelt werden.
- 6.5 Die Windgeschwindigkeiten für die Errichtungsphasen für den Stahlurm ST-98-FB-C-01 darf 80% der kritischen Windgeschwindigkeiten nicht überschreiten. Kritische Windgeschwindigkeiten und weitere Details sind der ENERCON Stellungnahme [1.2.4] zu entnehmen. Die finalen Errichtungshandbücher müssen vor Ausstellung des Typenzertifikates oder bevor der erste Turm errichtet wird, dem TÜV NORD übermittelt werden.

7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die in Tabelle 4.1 spezifizierten Windenergieanlagen der ENERCON E-160 EP5 E3 Plattform 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 Windenergieanlagen werden erfüllt. Die Auflagen und Hinweise in Kap. 6 sind zu berücksichtigen.

erstellt:



M.Eng. T. Zacher

freigegeben:



Dipl.-Ing. L. Klüppel

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON EP5 Plattform

- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -

TÜV NORD Report Nr.: 8114242475 - 5 D Rev. 6

Prüfobjekt: Elektrische Komponenten und Blitzschutz der
Windenergieanlage ENERCON LP4 / EP5
Plattform

Prüfumfang:

- DIBt 2012
- IEC 61400-22

Hersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 51 Seiten.

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

Revision	Datum	Änderungen	Experte
0	13.02.2019	Erste Fassung	H. Grafe
1	11.11.2019	<ul style="list-style-type: none"> - EP5 Plattform Bezeichnung als Äquivalent zu LP4 hinzugefügt - E-136 und E-147 Aliase zu L136 und L147 Konfigurationen hinzugefügt - Umrichter ACS880-87CC-5200A/4800A-7 hinzugefügt - Transformator von Eltas und Mittelspannungsschaltanlage von Ormazabal hinzugefügt - Modifikation des Turmfußmoduls - Geänderte Dokumente aufgeführt - Neue Nabenhöhe hinzugefügt - TÜV NORD Angebote: 2019-0239 Rev. 1 	H. Grafe
2	07.09.2020	<ul style="list-style-type: none"> - Neue Nennleistung für die L136-Konfiguration - E160 E1 Konfiguration hinzugefügt - Generator EP5-GU-E160-E1 von ENERCON hinzugefügt - Yaw Motoren AKEJ112M-6T und AKEJ112M-6R von Suzhou Lego Motors Co., Ltd hinzugefügt - Alternativer Ultrakondensator hinzugefügt - Alternativer Schleifring hinzugefügt - Aktualisierte sowie weitere Dokumente in Kapitel 1 aufgeführt - Revisionshistorie in Kapitel 3 gelöscht - AC-DC Pitch System in Kapitel 4.2 gelöscht - TÜV NORD Angebote: 2019-0101, 2019-0257 	C. Silva
3	02.12.2020	<ul style="list-style-type: none"> - E147 E2 Konfiguration und dazu entsprechende Dokumentation hinzugefügt - Generator E-147 E2 EP5-GU-01 aufgeführt - Transformator HONW 6000A-2018T 11001 hinzugefügt - Aktualisierte sowie weitere Dokumente in Kapitel 1 aufgeführt - TÜV NORD Angebot: 2020-0121 	C. Silva
4	01.03.2021	<ul style="list-style-type: none"> - E160 E2 Konfiguration und die dazu entsprechende Dokumentation hinzugefügt - Generator E-160 E2 EP5-GU-01 aufgeführt - Transformatoren HPNW 6500A-2034T12001 und HPNW 6500A-2035T10001 hinzugefügt - Aktualisierte sowie weitere Dokumente in Kapitel 1 aufgeführt - TÜV NORD Angebot: 2020-0260 	C. Silva
5	03.11.2021	<ul style="list-style-type: none"> - Name vom Hersteller von Lagerwey auf ENERCON geändert 	C. Silva

		- Name der Plattform von Lagerwey EP5 / LP4 auf ENERCON EP5 geändert - E160 E3 Konfiguration und die dazu entsprechende Dokumentation hinzugefügt - Umrichter ACS880-77CC-6880A/5500A-7 von ABB aufgeführt - Pitch Umrichter SK 200E-751-340 von Nord Drive Systems aufgeführt - Aktualisierte sowie weitere Dokumente in Kapitel 1 aufgeführt Geänderte Seiten: 5, 10 – 13, 17, 19, 21, 22, 24 – 27, 30, 33 – 51 TÜV NORD Angebot 2021-0042	
6	25.11.2021	- Pitch Umrichter SK 200E-751-340 von Nord Drive Systems hinausgenommen - Azimutmotor 132SP/4 BRE60 PT1000 von Nord Drive Systems aufgeführt. Geänderte Seiten: 15, 43 TÜV NORD Angebot 2021-0042	C. Silva

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	5
1.1	Geprüfte Dokumente	5
1.2	Mitgeltende Unterlagen	34
2	Angewandte Normen	36
3	Einleitung	37
4	Beschreibung der elektrischen Hauptkomponenten.....	38
4.1	Klimatische Bedingungen.....	38
4.2	Komponenten Beschreibung	38
5	Prüfbemerkungen	47
5.1	Methode	47
5.2	Anmerkungen	47
5.3	Prüfergebnis	48
6	Auflagen.....	51
7	Schlussfolgerung	51

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

System Beschreibung

- [1.1.1] Lagerwey Wind BV
Functional turbine specification L136
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10372-R3
Rev. R3, Datum: 21.07.2017
- [1.1.2] Lagerwey Wind BV
Functional turbine specification L147
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10529-R2
Rev. R2, Datum: 20.12.2018
- [1.1.3] Lagerwey Wind BV
LP4 L136-4.5MW Electrical Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C7-30-050240-R2
Rev. R2, Datum: 03.07.2019
- [1.1.4] Lagerwey Wind BV
Functional Turbine specification E-160 E1
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10530-R4
Rev. R0, Datum: 08.07.2020
- [1.1.5] Lagerwey Wind BV
Functional Turbine specification E-147 E2
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10944-R0
Rev. R0, Datum: 01.09.2020
- [1.1.6] Lagerwey Wind BV
Functional Turbine specification E-160 E2
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10986-R0
Rev. R0, Datum: 22.01.2021
- [1.1.7] Lagerwey Wind BV
Functional Turbine specification E-160 E3
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10988-R1
Rev. R1, Datum: 21.10.2021
- [1.1.8] ENERCON
Outline drawing – Nacelle E-160 EP5 E3
Dokumenten-Nr.: D02399059/0.1-de/en
Rev. -, Datum: 17.06.2021

Generator

- [1.1.9] Lagerwey Wind BV
LP4 Generator LW 5600-4300 description & data sheet
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050188-R1
Rev. R1, Datum: 16.01.2019

- [1.1.10] Lagerwey Wind BV
LP4 Generator LW 5600-4300 Typ test
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050146-R0
Rev. R0, Datum: 22.05.2017

- [1.1.11] Lagerwey Wind BV
Zeichnung Stator lamination assy LP4 general info
Dokumenten-Nr.: M03-C4-20-030890
Rev. B, Datum: 06.06.2017

- [1.1.12] Lagerwey Wind BV
Zeichnung Stator base frame 5000
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-030715
Rev. F, Datum: 29.11.2016

- [1.1.13] Lagerwey Wind BV
LP4 Generator LW 5600-4300 heat run
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050147-R1
Rev. 1, Datum: 23.12.2019

- [1.1.14] ENERCON
Generator Datenblatt EP5-GU-E160-E1
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050367-R0
Rev. 0, Datum: 03.08.2020

- [1.1.15] ENERCON
Technische Beschreibung – Derating curve E-160 EP5 E1 / 4600 kW
Dokumenten-Nr.: D0955336-0
Rev. -, Datum: 24.04.2020

- [1.1.16] Lagerwey Wind BV
Outline drawings – Generator LW6000 – 5450
Dokumenten-Nr.: 20-031438
Rev. A, Datum: 31.10.2019

- [1.1.17] Lagerwey Wind BV
LP4 Single Line Diagram SP
Dokumenten Nr.: 20-500215
Rev. R2, Datum: 19.12.2019

- [1.1.18] Lagerwey Wind BV
EP5 Generator LW6000-5450 – HP type test
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050343-R0
Rev. R0, Datum: 29.06.2020

- [1.1.19] Lagerwey Wind BV
M03-C5-30-050308-R3-EP5 Generator sensor list.xlsx
Dokumenten-Nr.: M03-C5-30-050308-R3
Rev. R3, Datum: 17.04.2020

- [1.1.20] ENERCON
Generator Data sheet E-147 E2 EP5-GU-01
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050416-R2
Rev. R2, Datum: 16.11.2020

- [1.1.21] Lagerwey Wind BV
Generator E-147 E2 EP5-GU-01 Type Test Report
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050368-R0
Rev. R0, Datum: 19.10.2020

- [1.1.22] Lagerwey Wind BV
Outline Drawing – Generator E-147 E2 EP5-GU-01
Dokumenten-Nr.: M03-C4-20-031935-A
Rev. A, Datum: 23.04.2020

- [1.1.23] ENERCON
Generator Data sheet E-160 E2 EP5-GU-01
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050383-R0
Rev. R0, Datum: 14.01.2021

- [1.1.24] Lagerwey
Generator E-160 E2 EP5-GU-01 Type Test Report
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050374-R0
Rev. R0, Datum: 11.01.2021

- [1.1.25] Lagerwey
Outline drawing – Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (stator base frame)
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-031805
Rev. C, Datum: 13.10.2020

- [1.1.26] Lagerwey
Outline drawing – Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (stator lamination assy)
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-031784
Rev. B, Datum: 24.11.2020

Umrichter

- [1.1.27] ABB
Hardware Manual ACS880-LC wind turbine converters
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000033762
Rev. C, Datum: 26.11.2017

- [1.1.28] ABB
EU Declaration of Conformity
Dokumenten-Nr.: 3AXD10000497236
Rev. -, Datum: 20.04.2016

- [1.1.29] ABB
EU Declaration of Conformity
Dokumenten-Nr.: 3AXD10000497308
Rev. -, Datum: 20.04.2016

- [1.1.30] ABB
Schaltplan ACS880-87LC-8000A/6144A-7 Master
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000045065
Rev. B, Datum: 12.01.2017

- [1.1.31] ABB
Part list Master Drive ACS880-87C
Dokumenten-Nr.: 3AUA0000204404
Rev. A, Datum: 20.10.2016

- [1.1.32] ABB
Schaltplan ACS880-87LC-8000A/6144A-7 Slave
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000045066
Rev. B, Datum: 12.01.2017

- [1.1.33] ABB
Part list Slave Drive ACS880-87C
Dokumenten-Nr.: 3AUA0000204405
Rev. A, Datum: 20.10.2016

- [1.1.34] ABB
Part list Loosen Parts ACS880-87
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000045538
Rev. A, Datum: 09.12.2016

- [1.1.35] ABB
Routine Test Report Master Drive ACS880-87-8000A/6144A-7
Seriennummer: 8165000431
Rev. -, Datum: 03.03.2017

- [1.1.36] ABB
Routine Test Report Slave Drive ACS880-87-8000A/6144A-7
Seriennummer: 8165000433
Rev. -, Datum: 03.03.2017

- [1.1.37] Lagerwey Wind BV
LP4 Protection Settings for Converter
Dokumenten-Nr.: M12-C2-40-050153-R0
Rev. R0, Datum: 07.04.2017

- [1.1.38] Lagerwey Wind BV
ACS880-87LC Specification 2x(5+4) converter with Brake Chopper – 5.0MW
Dokumenten-Nr.: M12-C5-30-050224-R1
Rev. R1, Datum: 18.01.2019

- [1.1.39] ABB
Routine test report
Seriennummer: 8183000209
Rev. -, Datum: 31.07.2018

- [1.1.40] ABB
Dimension drawing
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000045796
Rev. A, Datum: 31.10.2016

- [1.1.41] Lagerwey Wind BV
ACS880-87CC Specification 2x(5+3) converter with Brake Chopper – 4.5MW
Dokumenten-Nr.: M12-C5-30-050252-R1
Rev. R1, Datum: 15.02.2019

- [1.1.42] ABB
Hardware Manual ACS880-CC wind turbine converters
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000466948
Rev. A, Datum: 15.08.2019

- [1.1.43] ABB
Routine Test Report ACS880-87CC-5200A/4800A-7
Seriennummer: 8190900521
Rev. -, Datum: 29.03.2019

- [1.1.44] ABB
Routine Test Report Drive Module ACS880-104LC-0860A-7+D150
Seriennummer: 8191001744
Rev. -, Datum: 07.03.2019

- [1.1.45] ABB
Zeichnung
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000447534
Rev. B, Datum: 05.04.2019

- [1.1.46] ABB
Circuit Diagram Master
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000422616
Rev. F, Datum: 11.07.2019

- [1.1.47] ABB
Circuit Diagram Slave
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000422623
Rev. F, Datum: 11.07.2019

- [1.1.48] ABB
Part List Master
Dokumenten-Nr.: 3AUA5000080010
Rev. A, Datum: 27.03.2019

- [1.1.49] ABB
Part List Slave
Dokumenten-Nr.: 3AUA5000080029
Rev. A, Datum: 27.03.2019

- [1.1.50] ABB
EU Declaration of Conformity ACS880-87CC-5200/4800A-7
Dokumenten-Nr.: 3AXD10000881862
Rev.: -, Datum: 25.03.2019

- [1.1.51] Lagerwey Wind BV
Technical Specifications - ACS880-77CC 2x(4+4) 6880A-5500A (eNac)
Dokumenten-Nr.: M12-C5-30-050370-R1
Rev. R1, Datum: 08.12.2020

- [1.1.52] ABB
Hardware Manual – ACS880-77CC wind turbine converters (preliminary)
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000813605
Rev. A, Datum: 06.10.2021

- [1.1.53] ABB
Dimension drawing – 4XINU+4XISU MASTER ACS880-77CC
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000634606
Rev. -, Datum: 27.05.2020

[1.1.54] ABB
Circuit diagram - ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Wind Turbine Drive
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000811922
Rev. B, Datum: 06.09.2021

[1.1.55] ABB
Circuit diagram - ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Wind Turbine Drive
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000811939
Rev. B, Datum: 06.09.2021

[1.1.56] ABB
EU Declaration of Conformity
Dokumenten-Nr.: 3AXD10001415019
Rev. A, Datum: 29.06.2021

Blitzschutz

[1.1.57] Lagerwey Wind
LP4 Earthing and Lightning Protection
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050142-R1
Rev. 1, Datum: 12.07.2019

[1.1.58] LM Wind Power Wind Power
Technical Blade Specification LM 66.5 P
Dokumenten-Nr.: BS-00328/A2
Rev. A2, Datum: 15.11.2013

[1.1.59] LM Wind Power
Outline drawing LM 66.5 P Lagerwey
Dokumenten-Nr.: DR-08147/A2
Rev. A2, Datum: 21.11.2016

[1.1.60] LM Wind Power
Technical Data Sheet SafeReceptor, Insulated Lightning Protection System (ILPS)
Dokumenten-Nr.: TX-01903/A1
Rev. -, Datum: 08.03.2011

[1.1.61] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH
Evaluation Report, Safe Receptor, Insulated Lightning Protection System
Report Nr.: 74163-24
Rev. 2, Datum: 29.01.2014

[1.1.62] Germanischer Lloyd Renewables Certification
Component Certificate, Safe Receptor, Insulated Lightning Protection System
Report Nr.: CC-IEC-22-005A-2010
Rev. 1, Datum: 29.01.2014 (letzte Aktualisierung vom Zertifikat 14.05.2018)

- [1.1.63] Germanischer Lloyd
Statement of Compliance SAFE Receptor, Insulated Lightning Protection System
Dokumenten-Nr.: DAA-GL-027-2010
Rev.: 2, Datum: 29.01.2014

- [1.1.64] Lagerwey Wind BV
Foundation earthing plan MST 128,2
Dokumenten-Nr.: M08-C5-20-080027
Rev. B, Datum: 01.01.2017

- [1.1.65] LM Wind Power
Lightning protection –blade test
Seriennummer: LM66.5P#0002
Rev. -, Datum: 04.09.2014

- [1.1.66] Lagerwey
Schematics lightning protector weather station v1.3
Dokumenten-Nr.: 0001
Rev. 1.0, Datum: 24.02.2015

- [1.1.67] DNV GL Renewables Certification
Component Certificate – SAFE Receptor Insulated Lightning Protection System (ILPS); Dokumenten-Nr.: CC-DNV-GL-SE-0074-04682-0
Rev. -, Datum: 30.04.2019

- [1.1.68] Bureau Veritas Certification France
Gutachtliche Stellungnahme Design Prüfung – LM 78.3 P Rotorblatt
Dokumenten-Nr.: 190061-DE-BLA-02-1
Rev. 1, Datum: 28.05.2020

- [1.1.69] ENERCON
Technische Beschreibung – Blitzschutz
Dokumenten-Nr.: D0260891-12
Rev.-, Datum: 26.11.2020

- [1.1.70] ENERCON
Duct and lightning plan – Flat foundation (E160 EP5 E3)
Dokumenten-Nr.: D0983184-0
Rev. 12, Datum: 15.07.2020

Schleifring

- [1.1.71] Lagerwey Wind BV
Specification Slip Ring Unit 24 rings Hybrid
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050152-R0
Rev. 0, Datum: 29.09.2016

- [1.1.72] Morgan-Rekofa GmbH
Dimension drawing with data sheet and wiring diagram
Schleifringübertrager 5031376
Dokumenten-Nr.: F 5927 C
Rev. -, Datum: 16.09.2016

- [1.1.73] Lagerwey Wind BV
Specification Slip Ring Unit 25 Rings Hybrid with Ethernet
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050328-R1
Rev. R1, Datum: 06.04.2021

- [1.1.74] Moog Rekofa GmbH
Technical description – Slip Ring Assembly
Dokumenten-Nr.: F 5927D
Rev. -, Datum: 07.07.2020 (empfangen)

- [1.1.75] Moog Rekofa GmbH
Zeichnungen – Slip Ring Transmitter
Zeichnung-Nr.: F 5927D
Rev. -, Datum: 28.04.2020 (empfangen)

- [1.1.76] Moog Rekofa GmbH
Zeichnungen – Slip Ring Transmitter
Zeichnung-Nr.: F 5927D CC
Rev. -, Datum: 08.03.2021

- Elektrischer Azimutantrieb

- [1.1.77] Lagerwey Wind BV
Design Specification Yaw Drives LP4
Dokumenten-Nr.: M02-C5-30-10419-R3
Rev. R3, Datum: 07.07.2017

- [1.1.78] Bonfiglioli
Dimension drawing yaw drive
Dokumenten-Nr.: I7120T01 3000
Rev. B, Datum: 26.03.2014

- [1.1.79] Bonfiglioli
Dimension drawing yaw motor BN1 32S FD50 RM E3 SPEC
Dokumenten-Nr.: I2804_1000
Rev. A, Datum: 27.05.2015

- [1.1.80] Bonfiglioli
Test Report BN 132S 6
Dateiname: Report BN 132S 6.pdf
Rev. -, Datum: 25.07.2016

- [1.1.81] Bonfiglioli
Declaration of Conformity
Dateiname: Declaration of Conformity Yaw motor LP4.pdf
Rev. -, Datum: 18.04.2016

- [1.1.82] Lagerwey Wind BV
LP4 Yaw Limit Switch GKN
Dokumenten-Nr.: M02-C5-30-050193-R0
Rev. R0, Datum: 12.05.2017

- [1.1.83] Bonfiglioli Riduttori
Catalogue BN-BE-BX series, three-phase asynchronous motors
Dokumenten-Nr.: BR_CAT-BNEX_STD_ENG_R03_1
Rev.-, Datum: 30.09.2017

- [1.1.84] Liebherr
Dimension drawing yaw drive
Zeichnung-Nr.: 368 461 4000 99 0
Rev. 7.5, Datum: 18.06.2020

- [1.1.85] Liebherr
Datenblatt yaw motor
Dateiname: D0891868-0.pdf
Rev. A0, Datum: 30.04.2019

- [1.1.86] Liebherr
Outline drawing yaw motor
Dateiname: Drawing_12694320_AKEJ112M-6R.pdf
Rev. A6, Datum: 04.06.2020

- [1.1.87] Liebherr
Dimension drawing yaw drive
Dokumenten-Nr.: 368 461 4000 99 1
Rev. 6.5, Datum: 18.06.2020

- [1.1.88] Liebherr
Datenblatt yaw motor
Dateiname: AKEJ112M-6T - 20190508.pdf
Rev. A0, Datum: 08.05.2019

- [1.1.89] Liebherr
Outline drawing yaw motor
Dateiname: Drawing_12694319_AKEJ112M-6T.pdf
Rev. A7, Datum: 04.06.2020

- [1.1.90] Safenet Limited
EU declaration of conformity
Dokumenten-Nr.: 6810180517
Rev. 3, Datum: 22.05.2017

- [1.1.91] Bonfiglioli
Outline drawing - BN132 with ENCODER
Dokumenten-Nr.: I7120T025500
Rev. -, Datum: 07.08.2020

- [1.1.92] ENERCON
Spezifikation Dezentrale Azimutantriebe 5,5 kW
Dokumenten-Nr.: D0971605-1
Rev. 2, Datum: 05.03.2021

- [1.1.93] Nord Drive Systems
NORDAC FLEX (SK 200E ... SK 235E) –Manual for Frequency Inverters
Dateiname: Nord_SK-200E-751-340-A-C_datasheet
Rev. -, Datum: 10.11.2021 (empfangen)

- [1.1.94] ENERCON
Outline drawing – Yaw Motor TPC-5.5kW-38x80-FF265-50.8
Dokumenten-Nr.: D02168397/0.0-de/en
Rev. -, Datum: 08.03.2021

- [1.1.95] Getriebebau Nord Motor
Data Sheet 132SP/4 BRE60 PT1000
Dateiname: Motor Data Sheet_ENERCON_Azimutmotor EP5_NC_EN_2020-08-06
Rev. -, Datum: 06.08.2020

Elektrischer Pitchantrieb

- [1.1.96] Lagerwey Wind BV
Design Specification Pitch Drives LP4
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-10420-R2
Rev. R2, Datum: 07.07.2017

- [1.1.97] Bonfiglioli Vectron
Catalogue BTB – BCR Synchronous Servomotors
Dokumenten-Nr.: ve_cat_btddbcr_std_eng_r00_0
Rev. -, Datum: 26.07.2017 (empfangen)

- [1.1.98] Lagerwey Wind BV
DC motor 1200rpm 60Nm
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050150-R1
Rev. R1, Datum: 15.10.2015

- [1.1.99] Alpatek
Zeichnung A166PMW7
Dokumenten-Nr.: 24A166PMW7
Rev.: -, Datum: 11.10.2016

- [1.1.100] Alpatek
Data Sheet 24A166PM7512
Dokumenten-Nr. : 24A166PM7512
Rev.: -, Empfangen E-Mail: 01.08.2017, 17:21 von Hr. van Rekum (Lagerwey)

- [1.1.101] Bonfiglioli Vectron
Operating Instructions Active Cube
Dateiname: Operating_Instructions_ACU.pdf
Rev.: -, Datum: 06.2013

- [1.1.102] Lagerwey Wind BV
Powercable + brake Pitch servomotor
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050165-R0
Rev. R0, Datum: 23.12.2016

- [1.1.103] Lagerwey Wind BV
LP4 Pitch Limit Switch GKN
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050192-R0
Rev. R0, Datum: 15.05.2017

- [1.1.104] Lagerwey Wind BV
Design report – Pitch System dimensioning L136 & L147
Dokumenten-Nr.: M04-C5-40-000432-R0
Rev. R0, Datum: 16.01.2019

- [1.1.105] Lagerwey Wind BV
Design specification AC Servo pitch motors
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-10609-R0
Rev. R0, Datum: 13.12.2018

- [1.1.106] KEB
Data Sheet Pitch Motor 7608000-4000
Dokumenten-Nr.: 7608000-4000
Rev. 2, Datum: 12.06.2019

- [1.1.107] KEB
EU-Declaration of Conformity Servo motors Series-SM, 76
Dokumenten-Nr.: ENS_SM_E
Rev. -, Datum: 01.2016

- [1.1.108] KEB
Zeichnung KEB Antrieb 7608000-4000
Dokumenten-Nr.: 10054310
Rev. -, Datum: 06.11.2018

- [1.1.109] KEB
Servo motor, Instruction for use | Installation pitch systems
Dokumenten-Nr.: 20095783 EN 03 (translation)
Rev. 03, Datum: 03.2017

- [1.1.110] KEB
Instruction Manual Pitch Inverter P6
Dokumenten-Nr.: 20095484
Rev. 00, Datum: 07.10.2016

- [1.1.111] TÜV Rheinland
Certificate Pitch Inverter for Wind Turbines
Dokumenten-Nr.: 968/FSP 1188.01/17
Rev. -, Datum: 24.01.2017

- [1.1.112] KEB
EU-Declaration of Conformity, Inverter – Typ P6 - V2
Dokumenten-Nr.: RENS_P6_D
Rev. -, Datum: 02.2016

- [1.1.113] KEB
EU-Declaration of Conformity, Inverter – yyP6Gxx-xxxx and yyP6Hxx-xxxx
Dokumenten-Nr.: ce_wp_rsafety-p6-d_en
Rev. -, Datum: 28.12.2018

- [1.1.114] KEB
EU-Declaration of Conformity, Servo motor yySMxxx-xxxx and yy76xxx-xxxx
Dokumenten-Nr.: ce_gm_ens-sm-g_en
Rev. -, Datum: 28.12.2018

- [1.1.115] KEB
EU Declaration of Conformity
Dokumenten-Nr.: ce_gm_ens-sm-h_en
Rev. -, Datum: 12.2019

- [1.1.116] KEB
EU Declaration of Conformity
Dokumenten-Nr.: ce_wp_rens-p6-f_en
Rev. -, Datum: 01.2019

[1.1.117] Lagerwey Wind BV
Specifications - E160 Pitch Limit Switch
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050333-R0
Rev. R0, Datum: 12.05.2019

[1.1.118] Lagerwey Wind BV
Specifications - EP5 Pitch Blade Encoder
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050334-R0
Rev. R0, Datum: 13.12.2019

[1.1.119] Lagerwey Wind BV
E147-E2 Pitch Limit Switch
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050382-R0
Rev. R0, Datum: 19.10.2020

Ladeausrüstung und Speicher

[1.1.120] Lagerwey Wind BV
Safety system battery capacity
Dokumenten-Nr.: M50-C2-40-050047-R1
Rev. R1, Datum: 31.03.2017

[1.1.121] Mastervolt
Users manual ChargeMaster 12/10 & 24/06
Dateiname: Mastervolt Betriebsanleitung Ladegerät.pdf
Rev. 3.0, Datum: 07.2016

[1.1.122] Mastervolt
Technical description Battery Charger (IVO SMART)
Dokumenten-Nr.: EN091203
Rev. -, Datum: 13.04.2017 (empfangen)

[1.1.123] Mastervolt
Product description CSI alarm
Dateiname: CSILowBat1210_2406_041217.pdf
Rev. -, Datum: 09.2003

[1.1.124] Maxwell
Datasheet 160 V module
Dokumenten-Nr.: 3000246.6
Rev. -, Datum: 17.01.2019 (empfangen)

[1.1.125] LS Ultracapacitor
Product specification - Ultracapacitor
Dokumenten-Nr.: V01_161020
Rev. -, Datum: 11.03.2020 (empfangen)

- [1.1.126] Lagerwey Wind BV
L160 Ultracaps dimensioning
Dokumenten-Nr.: M04-C0-40-000599
Rev. R0, Datum: 31.10.2019
- [1.1.127] Lagerwey Wind BV
E160-E2 ultracaps dimensioning
Dokumenten-Nr.: M04-C2-40-050376-R0
Rev. R0, Datum: 22.01.2021

Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung

- [1.1.128] Lagerwey Wind BV
LP4 Thermal Rating of Main Circuit Cables – Nacelle and Tower Flexible Part
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050143-R2
Rev. R2, Datum: 22.05.2017
- [1.1.129] Lagerwey Wind BV
LP4 Thermal Rating of Main Circuit Cables – Tower Rigid Part
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050144-R2
Rev. R2, Datum: 22.05.2017
- [1.1.130] Lagerwey Wind BV
LP4 Thermal Rating of Main Circuit Cables – Converter to Transformer
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050145-R1
Rev. R1, Datum: 10.04.2017
- [1.1.131] Lagerwey Wind BV
LP4 Tower power cable specification
Dokumenten-Nr.: M09-C2-30-050200-R3
Rev. R3, Datum: 06.05.2021
- [1.1.132] Lagerwey Wind BV
LP4 Short Circuit Current of Main Circuit Cables
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050151-R1
Rev. R1, Datum: 31.03.2017
- [1.1.133] Dekra
Certificate Flexible cables with cross linked elastomeric insulation H07BN4-F
Dokumenten-Nr.: 2175022.02
Rev. -, Datum: 29.01.2015
- [1.1.134] TKF Group
Data sheet medium voltage power cable YMeKrvaslqwd 12/20 kV
Filename: TKF_product_54033 Switchgear-Trafo-en.pdf
Rev. -, Datum: 11.07.2017

- [1.1.135] Lagerwey Wind BV
LP4 Main Turbine Sensors
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050197-R3
Rev. R3, Datum: 13.12.2019

- [1.1.136] Lagerwey Wind BV
Auxiliary Transformer Specification 150 kVA 690/400V
Dokumenten-Nr.: M06-C5-30-050148-R4
Rev. R4, Datum: 06.05.2020

- [1.1.137] Lagerwey
Main power cable overview LP4 R1.xlsx
Dateiname: Main power cable overview LP4 R1.pdf
Rev.: 1, Datum: 31.01.2020

- [1.1.138] Incore Cables
Data sheet NAYY-O 600/1000V
Dateiname: Datasheet-NAYY-O-600-1000V.pdf
Rev.: -, Datum: 19.11.2018 (empfangen)

- [1.1.139] Incore Cables
Data sheet H07BN4-F 450/750V
Dateiname: Datasheet H07BN4-F.pdf
Rev.: -, Datum: 19.11.2018 (empfangen)

- [1.1.140] Helukabel
Data sheet N2XSY 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30 kV
Dateiname: 1DB_32400_en
Rev.: -, Datum: 27.09.2016

- [1.1.141] Helukabel
Certificate of compliance with the order 2.1 according to EN 10204
N2XSY 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30 kV
Dateiname: 1WB_32400_en
Rev.: -, Datum: 01.06.2018

- [1.1.142] ENERCON
Zeichnung Stromschiene LP4 VAR
Dokumenten-Nr.: D0796892-1
Rev.: 1, Datum: 11.07.2019

- [1.1.143] IPH Berlin
Test Report
Dokumenten-Nr.: 09940-19-0273; ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850882-0
Rev. -, Datum: 15.07.2019

- [1.1.144] IPH Berlin
Test Report
Dokumenten-Nr.: 09940-19-0281; ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850895-0
Rev. -, Datum: 11.07.2019

- [1.1.145] Lagerwey
Main power cable overview EP5 R1.xlsx
Dateiname: Main power cable overview EP5 R1
Rev.-, Datum: 28.10.2019

- [1.1.146] LAPP
Data Sheet - H07RN-F, enhanced version
Dokumenten-Nr.: DB4533000EN
Rev. 09, Datum: 07.05.2019

- [1.1.147] LAPP
EU Declaration of Conformity – H07RN-F (enhanced version)
Dokumenten-Nr.: E 4533000 - 3
Rev. -, Datum: 11.2018

- [1.1.148] Lagerwey Wind BV
EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables- Nacelle and Tower Flexible Part
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050307-R0
Rev. R0, Datum: 14.02.2020

- [1.1.149] Lagerwey Wind BV
EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables - Tower Rigid Part
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050308-R0
Rev. R0, Datum: 14.02.2020

- [1.1.150] ENERCON
Outline Drawing – Bus Bar TBM 5500 A
Dokumenten-Nr.: D0899464 – 0
Rev. -, Datum: 25.11.2019

- [1.1.151] ENERCON
Calculation busbar for E-160 EP5 E2
Dokumenten-Nr.: D0883034-0
Rev. -, Datum: 21.01.2021 (empfangen)

- [1.1.152] IPH Berlin
Test Report – AC busbar system TBM 5500 A
Dokumenten-Nr.: 11898-20-0259
Rev. -, Datum: 04.02.2021

- [1.1.153] Prysmian Group
Data Sheet – WINDFLEX GLOBAL S-3GSHOEU 1,8/3 kV
Dateiname: 1800-3000V_Flexibel_D0825385-0_Cu_Prysmian_Windflex
_Global_S-3GSHÖU_unscreened_en_rev1.pdf
Rev. -, Datum: 01.12.2020
- [1.1.154] Prysmian Group
Data Sheet – WINDFLEX-S (N)TSCGEHXOEU /3 20/35 kV
Dateiname: D0793217-0.pdf
Rev. -, Datum: 28.12.2020
- [1.1.155] ENERCON
Verkabelungsanleitung – Windenergieanlage E-160 EP5 E3
Dokumenten-Nr.: TD-esc-08-de-de-21-XX Rev000
Rev. -, Datum: 30.06.2021
- [1.1.156] ENERCON
Specification – Pre-assembled MV Tower Cables Set
Dokumenten-Nr.: D1006722-0
Rev. 0, Datum: 04.03.2021
- [1.1.157] Lagerwey Wind BV
E160 E3 Auxiliary Transformer Specification 150 kVA 690-400 V
Dokumenten-Nr.: M03-C5-30-050428-R3
Rev. R3, Datum: 29.04.2021
- [1.1.158] Lagerwey Wind BV
E160 E3 Auxiliary Transformer Specification 115 kVA 690-400 V
Dokumenten-Nr.: M03-C5-30-050441-R0
Rev. R0, Datum: 29.04.2021
- [1.1.159] Lagerwey Wind BV
EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables – eNacelle
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050402-R0
Rev. R0, Datum: 29.07.2021

Schaltpläne

- [1.1.160] Lagerwey Wind BV
LP4 Single Line diagram
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500201-R0
Rev. R0, Datum: 11.05.2017
- [1.1.161] Lagerwey Wind BV
LP4 Wiring diagram
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500200-R5
Rev. R5, Datum: 19.12.2019

- [1.1.162] Lagerwey Wind BV
LP4 Electrical System automatic disconnection Devices and Fuses
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050198-R3
Rev. R3, Datum: 07.02.2020

- [1.1.163] Lagerwey Wind BV
LP4 Protection Functions and Settings
Dokumenten-Nr.: M17-C7-30-050239-R1
Rev. R1, Datum: 13.06.2019

- [1.1.164] Lagerwey Wind B.V.
LP4 Single Line Diagram Single Pitch Motors
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500215-R2-LP4
Rev. R1, Datum: 26.07.2019

- [1.1.165] Lagerwey Wind B.V.
LP4 wiring diagram
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-0500200-B-LP4
Rev. R0, Datum: 12.11.2018

- [1.1.166] Lagerwey Wind B.V.
Tower 155.0m MST MKII
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-550013-A
Rev. A, Datum: 25.10.2019

- [1.1.167] Lagerwey Wind BV
Tower 128.2m MST BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550006 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.168] Lagerwey Wind BV
Tower 106.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550008 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.169] Lagerwey Wind BV
Tower 120.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550009 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.170] Lagerwey Wind BV
Tower 126.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550010 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.171] Lagerwey Wind BV
Tower 132.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550011 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.172] Lagerwey Wind BV
Tower 143.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550012 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.173] Lagerwey Wind BV
Tower 155.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550013 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.174] Lagerwey Wind BV
Tower 166.0m MST MK2 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550014 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.175] Lagerwey Wind BV
Tower options BB
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-558000 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.176] Lagerwey Wind BV
Nacelle 2760 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-540002 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.177] Lagerwey Wind BV
Nacelle 2760 EP5 BB
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-540004 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.178] Lagerwey Wind BV
Nacelle options LP4
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-548002 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.179] Lagerwey Wind BV
Generator EP5 BB
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-530003-E
Rev. E, Datum: 01.06.2021

- [1.1.180] Lagerwey Wind BV
Hub 2340 LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M04-C5-20-520002 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.181] Lagerwey Wind BV
Hub EP5 BB
Dokumenten-Nr.: M04-C5-20-520004 - E
Rev. E, Datum: 02.06.2021

- [1.1.182] Lagerwey Wind BV
Hub options LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M04-C5-20-528010 – A
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.1.183] Lagerwey Wind BV
Tower Base Platform General (2xACS880) LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-560003 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.184] Lagerwey Wind BV
Tower Base Module General LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-560005 – B
Rev. B, Datum: 05.12.2019

- [1.1.185] Lagerwey Wind BV
Medium Voltage room LP4 BB
Dokumenten-Nr.: M17-C5-20-562003 – B
Rev. B, Datum: 28.11.2019

- [1.1.186] Lagerwey Wind BV
EP5 Single Line Diagram
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500233 – A
Rev. A, Datum: 07.10.2020

- [1.1.187] Lagerwey Wind BV
EP5 Single Line Diagram
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-560006 – A
Rev. A, Datum: 27.07.2020

- [1.1.188] ENERCON
Control Cabinet Transformer
Dokumenten-Nr.: D1020118
Rev. -, Datum: 09.04.2021

- [1.1.189] ENERCON
Control Cabinet Transformer
Dokument-Nr.: D1015142
Rev. –, Datum: 09.04.2021

- [1.1.190] Lagerwey Wind BV
Auxiliary power distribution box EP5 E3
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543001-B-01
Rev. B01, Datum: 18.06.2021

- [1.1.191] Lagerwey Wind BV
Nacelle control box EP5 E3
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543010-B-01
Rev. B01, Datum: 14.07.2021

- [1.1.192] Lagerwey Wind BV
Nacelle junction box
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543040-A-01
Rev. A01, Datum: 21.04.2021

- [1.1.193] Lagerwey Wind BV
Light Installation E-Nacelle
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543050-A-01
Rev. A01, Datum: 21.04.2021

- [1.1.194] Lagerwey Wind BV
Cooling control box EP5 E3
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543020-B-01
Rev. B01, Datum: 18.06.2021

- [1.1.195] Lagerwey Wind BV
Auxiliary Transformer
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543070-B
Rev. B, Datum: 28.04.2021

- [1.1.196] Lagerwey Wind BV
Power Converter ACS880-77CC 2x(4+4)
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543081-B
Rev. B, Datum: 28.04.2021

- [1.1.197] Lagerwey Wind BV
Tower Control Box
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569006-B
Rev. B, Datum: 23.04.2021

- [1.1.198] Lagerwey Wind BV
Tower Control Panel
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569015-B
Rev. B, Datum: 14.07.2021

- [1.1.199] Lagerwey Wind BV
TBCU light installation
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569084-A
Rev. A, Datum: 23.04.2021

- [1.1.200] Lagerwey Wind BV
TBCU switchboard
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569124 - A
Rev. A, Datum: 23.04.2021

- [1.1.201] Lagerwey Wind BV
Lightning Arrester Box
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543030 – A
Rev. A, Datum: 28.01.2021

- [1.1.202] Lagerwey Wind BV
Weather station (2x NRG & 1x VA)
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543060-A-01
Rev. A01, Datum: 05.05.2021

- [1.1.203] Lagerwey Wind BV
Medium Voltage Transformer
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543100-A-KFWF-KDWF
Rev. A, Datum: 28.01.2021

- [1.1.204] Lagerwey Wind BV
Transformer control cabinet
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543110-A
Rev. A, Datum: 28.01.2021

- [1.1.205] Lagerwey Wind BV
Switchgear TBCU EP5
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-562019-A
Rev. A, Datum: 28.01.2021

- [1.1.206] Lagerwey Wind BV
Switchgear Remote Control
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569177-A
Rev. A, Datum: 28.01.2021

- [1.1.207] ENERCON
Beleuchtungszentrale
Dokumenten-Nr.: D0984017-0
Rev. 0, Datum: 16.07.2020
- [1.1.208] ENERCON
Beleuchtungszentrale
Dokumenten-Nr.: D1027115-1.0
Rev. 1.0, Datum: 15.04.2021
- [1.1.209] Lagerwey Wind BV
Tower Top Connection Box
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-559201- B
Rev. B, Datum: 15.07.2021

Transformator

- [1.1.210] Lagerwey Wind BV
LP4 Grid Transformer 5 MVA Purchase Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050191-R0
Rev. R0, Datum: 08.03.2017
- [1.1.211] IEO Transformatoren BV
Typenschild T50IND 21/0,69
Dokumenten-Nr.: TES Naamplaat Engels 4280-603
Dateiname: LP4 Name Plate 5MVA 21KV-690V Main Transformer Snr
162170501.pdf
Rev. -, Datum: 03.04.2017 (empfangen)
- [1.1.212] IEO Transformatoren BV
Testreport
Transformer-Nr.: 162170501
Rev. -, Datum: 07.02.2017
- [1.1.213] IEO Transformatoren BV
Brief, Betreff: Supply of 5 MVA 21/0.69 kv Transformer against your order
130904362 Date 27.03.2017
Dateiname: Declaration of Conformity 5MVA 21-0.69kV Transformer.pdf
Rev. -, Datum: 27.07.2017
- [1.1.214] Lagerwey Wind BV
LP4 Grid Transformer 5 MVA with 7stage MV Tapchanger Purchase
Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050244-R1
Rev. R1, Datum: 17.01.2019

- [1.1.215] IEO Transformatoren BV
Typenschild T51IND 21/0,69
Dokumenten-Nr.: TES Naamplaat Nederlands 4280-601
Dateiname: Transformer name plate.pdf
Rev. -, Datum: 10.12.2018 (empfangen)

- [1.1.216] IEO Transformatoren B.V.
Distribution transformers operation manual
Dokumenten-Nr.: IP/DSG/IM/01
Rev. 1.2, Datum: 17.05.2018

- [1.1.217] IEO Transformer B.V.
General Specification
Dokumenten-Nr.: 10888
Rev. -, Datum: 18.01.2019 (empfangen)

- [1.1.218] IEO Transformer B.V.
Zeichnung General Arrangement 5100 kVA 21000/690 V
Dokumenten-Nr.: A-6410
Rev. -, Datum: 29.07.2018

- [1.1.219] Lagerwey Wind BV
LP4 Grid Transformer 5.1 MVA Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050305-R1
Rev. R1, Datum: 02.07.2019

- [1.1.220] Lagerwey Wind BV
LP4 / EP5 Grid Transformer 5.2 MVA Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050286-R2
Rev. R2, Datum: 26.11.2019

- [1.1.221] Lagerwey Wind BV
LP4 / EP5 Grid Transformer 5.6 MVA Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050287-R2
Rev. R2, Datum: 26.11.2019

- [1.1.222] ENERCON
Type certification of distribution transformers
Dokumenten-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001
Rev. 001, Datum: 17.02.2014

- [1.1.223] ELTAS
General Specification, over-all dimension drawing and wiring diagram
Dateiname: 195973 ELTAS Trafo 5,1 30;0,69 KN L E 50Hz n5 ±2x2,5
Rev.: -, Datum: 27.08.2019

- [1.1.224] ELTAS
Schaltplan
Dokumenten-Nr.: 19.M.250.4923
Rev. -, Datum: 27.02.2019

- [1.1.225] ELTAS
F.A.T. Protocol
Seriennummer: YT-19-5858, YT-19-5859, YT-19-5860, YT-19-5861, YT-19-5862
Rev. -, Datum 04.2019 (Inspektionsdatum)

- [1.1.226] Lagerwey Wind BV
LP4/EP5 Grid Transformer 6.0 MVA Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050288-R2
Rev. R2, Datum: 26.11.2019

- [1.1.227] J. Schneider Elektrotechnik
Technical Data Sheet, Outline Drawing
Dateiname: D1023740-0 770899 JS Trafo 6,0 20;0,69 KN L E 50Hz n5
+4x2,5 V1.pdf; Rev. -, Datum: 17.07.2020

- [1.1.228] J. Schneider Elektrotechnik
Test Certificate – Three Phase Transformer
Dateiname: D1023744-0 Test certificate.pdf
Rev. -, Datum: 13.07.2020

- [1.1.229] Lagerwey Wind BV
Outline drawing – EP5-TBM-01; TBM Bottom unit Components assy
Zeichnung-Nr.: M06-C5-20-061406 – A
Rev. A, Datum: 29.06.2020

- [1.1.230] Lagerwey Wind BV
Outline drawing – Bottom unit floorframe weldment
Zeichnung-Nr.: M06-C5-20-061448 - A
Rev. A, Datum: 29.06.2020

- [1.1.231] ENERCON
Transformer Specification – Wind energy converter E160 EP5 E2 5500 kW
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-SP045-S1 E-160 EP5 E2 5500 kW
Rev. -, Datum: 30.01.2020

- [1.1.232] J. Schneider Elektrotechnik
Data sheet / Outline drawing – Transformer HPNW 6500A-2034T12001
Dateiname: 782984 JS Trafo 6,5 33;0,69 KF L 50Hz n5 ±2x5 V1
Rev. -; Datum: 06.10.2020

- [1.1.233] J. Schneider Elektrotechnik
Test certificate – Three phase transformer HPNW 6500A-2034T12001
Dokumenten-Nr.: 100011920
Rev. -, Datum: 03.12.2020
- [1.1.234] J. Schneider Elektrotechnik
Data sheet / Outline drawing – Transformer HPNW 6500A-2035T10001
Dateiname: 780149 JS Trafo 6,5 10;0,69 KF L E 50Hz n5 +4x2,5 V1
Rev. -, Datum: 12.11.2020
- [1.1.235] ENERCON
Transformer inside nacelle 6,2 / 6,5MVA
Dateiname: D0962785_5.1
Rev. -, Datum: 05.05.2021
- Mittelspannungsschaltanlage
- [1.1.236] Lagerwey Wind BV
LP4 Protection Settings for MV Switchgear
Dokumenten-Nr.: M17-C2-40-050154-R1
Rev. R1, Datum: 26.07.2017
- [1.1.237] Siemens
Installation and Operating Instructions Medium-Voltage Switchgear Typ
8DJH
Dokumenten-Nr.: 500-8384.9
Rev. 06, Datum: 10.08.2011
- [1.1.238] Siemens
Technical Description 8DJH
Dokumenten-Nr.: 8DJH-176373
Rev. -, Datum: 20.01.2017
- [1.1.239] Siemens
Single Line Diagram 8DJH
Dokumenten-Nr.: 8DJH-176373
Rev. -, Datum: 20.01.2017
- [1.1.240] Siemens
Circuit Diagram 8DJH Switchgear 24,0kV
Dokumenten-Nr.: 4509066258
Rev. -, Datum: 13.02.2016
- [1.1.241] Lagerwey Wind BV
LP4 for MV Switchgear Siemens 8DJH 24 kV RL500 Purchase Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050231-R0
Rev. R0, Datum: 13.06.2018

- [1.1.242] Siemens
Circuit Diagram 8DJH RL SIPROTEC 5
Dokumenten-Nr.: 946990-000010
Rev. -, Datum: 17.09.2018

- [1.1.243] Siemens
Routine test report 8DJH Endausbau – PSIII.3
Dokumenten-Nr.: 000000946990-000010-0060-0002-0001
Rev. -, Datum: 16.10.2018

- [1.1.244] Siemens
Routine test report 8DJH Endausbau – PSIII.1
Dokumenten-Nr.: 000000946990-000020-0060-0002-0001
Rev. -, Datum: 15.10.2018

- [1.1.245] Siemens
Test Certificate 7SJ82
Seriennummer: BM1809004418
Rev. -, Datum: 17.09.2018

- [1.1.246] Siemens
Test Certificate 7SJ82
Seriennummer: BM1809007373
Rev. -, Datum: 24.09.2018

- [1.1.247] Lagerwey Wind BV
LP4 / EP5 MV Switchgear Specification
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050306-R0
Rev. 0, Datum: 16.07.2019

- [1.1.248] Ormazabal
Technische Beschreibung cgm.3
Dokumenten-Nr.: CA-112-EN-1501
Rev. -, Datum: 15.08.2019 (empfangen)

- [1.1.249] Ormazabal
Zeichnung cgm.3
Dokumenten-Nr.: P019314
Dateiname: 170258 SLD Schaltanl. CGM.3 2K 1LSV V3
Rev. -, Datum: 28.11.2017

- [1.1.250] Ormazabal
Schaltplan
Dokumenten-Nr.: E08354
Dateiname: 170258 SLD Schaltanl. CGM.3 2K 1LSV V3
Rev. 01, Datum: 23.11.2017

- [1.1.251] Ormazabal
Schaltplan
Dokumenten-Nr.: E07106
Rev. 02, Datum: 07.09.2016

- [1.1.252] Kema
Report of Performance TIC 2417-11; cgm.3 L
Seriennummer: 3621-1092
Rev. -, Datum: 02.02.2011

- [1.1.253] Kema
Test Report 31009211GB; cgm.3-V
Seriennummer: 31009211-M3
Rev. -, Datum: 22.12.2010

- [1.1.254] Siemens
Circuit diagrams 8DJH 20kV Standard Switchgear (RRL)
Dateiname: 95434 sld switchgear 8DJH RRL2 V3 eng.pdf
Rev. -, Datum: 08.09.2009

- [1.1.255] Siemens
Circuit diagrams 8DJH Switchgear 20kV- RRRL SWE LARREITER POLDER
Dokumenten-Nr.: 30138862
Rev. -, Datum: 08.09.2009

- [1.1.256] Siemens
Circuit diagrams 8DJH Switchgear 24kV- 4 x RL2 - 806023-000010
Dokumenten-Nr.: 0030175687
Rev. -, Datum: 14.10.2010

- [1.1.257] Siemens
Circuit diagrams 8DJH Switchgear 24kV- RV - 15 x RRL2 20kA - 133019
(846693-000010), Dokumenten-Nr.: 0030256881
Rev. -, Datum: 15.04.2013

- [1.1.258] ENERCON
Specification – V6 medium voltage switch gear
Dokumenten-Nr.: D1015798-0
Rev. 0.2, Datum: 23.09.2021

- [1.1.259] Ormazabal velatia
Circuit diagrams – V6 CGM3
Dokumenten-Nr.: E09288
Rev. 03, Datum: 19.05.2021

[1.1.260] Ormazabal velatia
Circuit diagrams – V6 CGM3
Dokumenten-Nr.: E09306
Rev. 03, Datum: 19.05.2021

[1.1.261] Siemens AG
Circuit diagrams - ENERCON RV - 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6
Dokumenten-Nr.: 0030503224 / 10
Rev. A, Datum: 13.01.2021

1.2 Mitgeltende Unterlagen

[1.2.1] Lagerwey Wind BV
Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10480-R12
Rev. R12, Datum: 13.07.2021

[1.2.2] Lagerwey Wind BV
Description operation and safety system
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050022-R8
Rev. R8, Datum: 14.04.2017

[1.2.3] Lagerwey Wind BV
LP4 Safety System Components
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050196-R2
Rev. R2, Datum: 09.07.2019

[1.2.4] Lagerwey Wind BV
L136 P4500 T132 BLM AW8.5 TI16.0 Parameters for CS and SS relevant to
loadset and shutdown
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050154-R0
Rev. R0, Datum: 01.12.2016

[1.2.5] Lagerwey Wind BV
L136 4.5MW pars Default
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050155-R0
Rev. R0, Datum: 16.05.2017

[1.2.6] Lagerwey Wind BV
MEMO Assessment Remarks
Dateiname: Assessment remarks comments 27-6-2017.docx
Rev. -, Datum: 27.06.2017.

[1.2.7] Lagerwey Wind BV
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-24
Dateiname: Assessment remarks comments - AP - 2017-07-24.docx
Rev. -, Datum: 24.07.2017

- [1.2.8] Lagerwey Wind BV
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-26
Dateiname: Assessment remarks comments - 2017-07-26.pdf
Rev. -, Datum: 26.07.2017

- [1.2.9] Lagerwey Wind BV
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-27
Dateiname: Assessment remarks comments - 2017-07-27.pdf
Rev. -, Datum: 27.07.2017

- [1.2.10] Lagerwey Wind BV
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-28
Dateiname: Assessment remarks comments - 2017-07-28.pdf
Rev. -, Datum: 28.07.2017

- [1.2.11] Bureau Veritas
Design Evaluation Conformity Statement LM 71.8 P
Dokumenten-Nr.: 180003-CS-DE-01-0
Rev. -, Datum: 30.03.2018

- [1.2.12] Lagerwey Wind BV
L147 P4300 T132M BLM AW8.5 TI16.0 Parameters for CS and SS relevant
to loadset and shutdown
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050232-R0
Rev. R0, Datum: 25.10.2018

- [1.2.13] TÜV NORD CERT GmbH
Evaluation Report Wind Turbine Platform LP4 – Design Basis
TÜV NORD Report Nr.: 8114242475 – 0 E, Rev. 3, Datum: 12.08.2019

- [1.2.14] Lagerwey Wind BV
LP4 Description operation and safety system
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050219-R0
Rev. R0, Datum: 05.12.2018

- [1.2.15] TÜV NORD CERT GmbH
Evaluation Report Wind Turbine Lagerwey LP4 Platform
Electrical Equipment and Lightning Protection
TÜV NORD Report Nr.: 8114242475 – 5 E, Rev.8, Datum: 26.02.2021

- [1.2.16] Lagerwey Wind BV
Begründung der L136-Nennleistungspegel
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-000626-R0
Rev. -, Datum: 14.01.2020

- [1.2.17] Lagerwey Wind BV
EP5 Safety System Components
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050338-R0
Rev. -, Datum: 07.02.2020

- [1.2.18] Lagerwey Wind BV
EP5 Description Operation and Safety System
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050302-R0
Rev. R0, Datum: 14.02.2020

- [1.2.19] ENERCON
Wartungsanleitung (Hauptwartung) –E-160 EP5 E3
Dokumenten-Nr.: D02406226/0.0-de
Rev. 0, Datum: 23.06.2021

- [1.2.20] ENERCON
Inbetriebnahmeanleitung (300h-Wartung) – E-160 EP5 E3
Dokumenten-Nr.: D02408552 0
Rev. 0, Datum: 28.06.2021

- [1.2.21] ENERCON
Technical Description – FRT (Fault-Ride through) Functions E-160 EP5 E3
Dokumenten-Nr.: D02522709/1.0-en
Rev. 1, Datum: 26.10.2021

2 Angewandte Normen

- [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
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung

- [2.3] DIN EN 61400-1:2005 +A:2010 (Dritte Ausgabe)
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen

- [2.4] IEC 60034-1:2010
Drehende elektrische Maschinen - Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten

- [2.5] EN 60204-1:2005, modifiziert
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -
Teil 1: Allgemeine Anforderungen

- [2.6] DIN EN 61800-5-1:2008
Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl
Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – Elektrische, thermische und energetische Anforderungen
- [2.7] DIN EN 61800-3:2012
Drehzahlveränderlicher elektrische Antriebe
Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren
- [2.8] DIN EN 61400-24:2011
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.9] IEC 62305 Serie
Blitzschutz
- [2.10] DIN EN 60076-1:2012
Leistungstransformatoren - Teil 1: Allgemeines
- [2.11] IEC 62271-200:2011
Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen
Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV
- [2.12] DIN 18014:2014-03
Fundamententwurf - Planung, Ausführung und Dokumentation
- [2.13] DIN EN IEC 61400-1: 2019-12 (Vierte Ausgabe)
Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen

3 Einleitung

In der DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) Richtlinie [2.1] werden keine direkten Anforderungen an den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme entsprechend IEC 61400-22 [2.2] die Anforderungen der IEC 61400-1 (Ed. 3) [2.3] und IEC 61400-1 (Ed.4) [2.13] als Prüfgrundlage definiert.

Die ENERCON EP5 Plattform wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-1 überprüft. Die Ergebnisse dieser Überprüfung sind im TÜV NORD Zertifizierungsbericht [1.2.15] zusammengefasst. Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme für die ENERCON (Lagerwey) LP4 / EP5 Plattform wurde auf Basis dieses Zertifizierungsberichtes erstellt.

Auf Basis der von ENERCON übermittelten Dokumente haben wir das elektrische System und den Blitzschutz auf Einhaltung der Anforderung der IEC 61400-1 geprüft. Für den Blitzschutz von WEA wurden die IEC 61400-24 [2.8] und IEC 62305 [2.9] berücksichtigt.

4 Beschreibung der elektrischen Hauptkomponenten

Die Prüfung des elektrischen Systems und des Blitzschutzes beinhaltet die folgenden WEA [1.1.1], [1.1.2]:

Variant Nr.	WEA	Frequenz	Nennleistung	Turm / Nabenhöhe	Rotordurchmesser / Rotorblatt	Umgebungsbedingung
1	Lagerwey L136 / E-136	50 Hz	4.5 MW	Stahl ¹ 132 m, 109 m	136 m LM 66.5 P	STW
2	Lagerwey L147 / E-147	50 Hz	4.3 MW	Stahl ¹ 109 m, 126 m, 132 m, 155 m	147 m LM 71.8 P	STW
3	Lagerwey L136 / E-136	50 Hz	4.65 MW	Stahl ¹ 132 m, 109 m, 155 m	136 m LM 66.5 P	STW
4	Lagerwey L-160 / E-160	50 Hz	4.6 MW	Stahl ¹ 120 m, 166 m	160 m LM 78.3 P	STW
5	Lagerwey L-147 E2 / E-147 E2	50 Hz	5.0 MW	Stahl ¹ 126 m, 155 m	147 m LM 71.8 P	STW
6	Lagerwey L-160 E2 / E-160 E2	50 Hz	5.5 MW	Stahl 120 m, 140 m, 143 m, 166 m	160 m LM 78.3 P	STW
7	ENERCON E-160 EP5 E3	50 Hz	5.56 MW	Steel, Hybrid 98 m 100 m, 114 m, 120 m, 135 m, 166 m	160 m LM 78.3 P	STW

Tabelle 4.1: WEA Konfigurationen der ENERCON EP5 Plattform

4.1 Klimatische Bedingungen

Die ENERCON EP5 Plattform ist für die folgenden klimatischen Bedingungen spezifiziert [1.2.1]:

Version:	Betriebstemperaturbereich:	Auslegungstemperatur:
Standard Weather Edition (STW)	-10 °C bis 40 °C	-20 °C bis 50 °C

Tabelle 4.2: Temperaturbereich ENERCON EP5 Plattform

Die maximale Installationshöhe der EP5 Plattform ist von ENERCON nicht definiert. Für die Evaluierung des elektrischen Systems wurde die Standardhöhe von 1000 m über NN berücksichtigt.

4.2 Komponenten Beschreibung

Die elektrischen Eigenschaften der Hauptkomponenten sind:

¹ Alternativ Modular Steel Tower

• **Generator**

Hersteller:	Lagerwey	
Typ:	LW 5600-4300	
WEA Variante:	1, 2, 3	
Prinzip:	permanent-magnet synchron	
Nennscheinleistung:	6366 kVA	6081 kVA
Nennspannung:	717 V ²	672 V ²
Nennstrom:	2*2565 A	2*2611 A
Nenndrehzahl:	11,0 min ⁻¹	10,28 min ⁻¹
Frequenz:	12,1 Hz	11,308 Hz
Isolationsklasse:	F	
Anzahl der Pole:	66	
Schutzart:	IP 54	
Kühlungsart:	Luft	
Max. Installationshöhe:	1000 m	
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 40 °C	

Hersteller:	ENERCON	
Typ:	EP5-GU-E160-E1	E-147 E2 EP5-GU-01
WEA Variante:	„3	5
Prinzip:	permanent-magnet synchron	
Nennscheinleistung:	6226 kVA	6292 kVA
Nennspannung:	720 V ²	738,2 V
Nennstrom:	4996 A	16*307,6 A
Nenndrehzahl:	9,3 min ⁻¹	

² Über den Vollumrichter erfolgt eine aktive Regelung der Spannung.

³ Der Generator ist für keine WEA Variante freigegeben, da das Typenschild einschließlich der Angaben zum Betriebstemperaturbereich noch einzureichen ist.

Frequenz:	13,64 Hz
Isolationsklasse:	F
Anzahl der Pole:	176
Schutzart:	IP 54
Kühlungsart:	Luft
Max. Installationshöhe:	bis zum 2500 m mit de-rating 1000 m
Betriebstemperaturbereich:	⁻³ -15 °C bis 40 °C ⁴
Hersteller:	ENERCON
Typ:	E-160 E2 EP5-GU-01
WEA Variante:	6, 7
Prinzip:	permanent-magnet synchron
Nennscheinleistung:	6958 kVA
Nennspannung:	741,7 V
Nennstrom:	16*338,5 A
Nenndrehzahl:	9,4 min ⁻¹
Frequenz:	13,787 Hz
Isolationsklasse:	F
Anzahl der Pole:	176
Schutzart:	IP 54
Kühlungsart:	Luft
Max. Installationshöhe:	bis zum 1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-15 °C bis 40 °C ⁵
Zugehörige Dokumentation:	[1.1.23] - [1.1.26]

⁴ Ab 20° C arbeitet der Generator mit einer Derating-Strategie [1.1.20]

⁵ Ab 20° C arbeitet der Generator mit einer Derating-Strategie [1.1.23]

• Umrichter

Hersteller:	ABB		
Typ:	IGBT Vollumrichter		
Bezeichnung:	ACS880-87LC-8000A/6144A-7	ACS880-87CC-5200A/4800A-7	ACS880-77CC-6880A/5500A-7
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3, 4, 5	7
Nennleistung (Netzseite):	6608 kW	5163 kW	5916 kW
Nennscheinleistung (Netzseite):	7342 kVA	5737 kW	6573 kVA
Leistungsfaktor (cos ϕ):	0,9	0,9	0,9
Nennspannung (Netzseite):	3 ~ 690 V AC	3 ~ 690 V AC	3 ~ 690 V AC
Nennstrom (Netzseite):	6144 A (3072 A / Modul)	4800 A (2400 A / Modul)	5500 A (2750 A / module)
Nennspannung (Maschinenseite):	3 ~ 0...690 V	3 ~ 0...690 V	3 ~ 0...690 V
Nennstrom (Maschinenseite):	8000 A (4000 A / Modul)	5200 A (2600 A / Modul)	6880 A (3440 A / module)
Frequenz (Netzseite):	50 \pm 5 Hz / 60 \pm 5 Hz	50/60 Hz \pm 5 Hz	50/60 Hz \pm 5 Hz
Schutzart:	IP54	IP21	IP21
Max. Installationshöhe ⁶ :	1000 m	1000 m	1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 45 °C	-30 °C bis 45 °C	-30 °C bis 45 °C

⁶ Bei Installationshöhen zwischen 1000 m bis 2000 m ü. NN. muss ein Derating entsprechend der ABB Vorgaben im Handbuch berücksichtigt werden.

Zugehörige Dokumentation:-	-	-	[1.1.51] - [1.1.56]
----------------------------	---	---	---------------------

- **AC Pitch System**

Pitch Motor:

Hersteller:	KEB
Bezeichnung:	7608000-4000
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Nennleistung:	19,8 kW
Nenndrehmoment:	95 Nm
Nennspannung:	~ ⁷
Nennstrom:	42,3 A
Nenndrehzahl:	2000 min ⁻¹
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	IP65
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 50 °C

Pitch Umrichter:

Hersteller:	KEB
Bezeichnung:	19P6H2G-YLXA
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6
Versorgungsspannung:	400 V
Nennausgangsstrom:	52 A
Max. Ausgangsstrom:	83 A
Schutzart:	~ ⁷
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 65 °C

⁷ In den Herstellerdokumenten nicht angegeben

Energiespeicher:

Typ:	Ultrakondensator	
Hersteller:	Maxwell	LS Ultracapacitor
Bezeichnung:	BMOD0006 E160 B02	LSUM 168R0L 0005F EA
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1, 2, 3, 4, 5
Kapazität / Blatt:	5,8 F / 3,86F ⁸	5,8 F
Nennspannung (DC) / Blatt:	160 V	168 V
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 65 °C	-40°C bis ~65°C

- Azimutmotor:**

Hersteller:	Bonfiglioli	Nord Drive Systems
Bezeichnung:	BN 132S 6 400/690-50 IP55 CLF B5 FD 50 RM SB 400 SA E3	132SP/4 BRE60 PT1000
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 6	7
Nennleistung:	3,0 kW	5.5 kW
Nennspannung:	400/690 V	380 ... 500 V
Frequenz :	50 Hz	47 ... 63 Hz
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 60 °C ⁹	-25 °C bis 40 °C

Zugehörige Dokumentation: [1.1.92] - [1.1.95]

Hersteller:	Suzhou Lego Motors Co., Ltd	
Bezeichnung:	AKEJ112M-6T	AKEJ112M-6R
WEA Variante:	1, 2, 3. 4, 5, 6	
Nennleistung:	3 kW	

⁸ Nennkapazität je Modul 5.8 F, je Blatt 2 x 3 Module parallel

⁹ Der Betriebstemperaturbereich der Azimutantriebe hängt vom verwendeten Getriebeöl ab. Der angegebene Temperaturbereich gilt für das Öl ISO VG 320.

Nennspannung:	400/690 V
Frequenz :	50 Hz
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 45 °C

- **Schleifring:**

Hersteller:	Rekofa	
Bezeichnung:	5031376	F 5927 D
WEA Variante:	1, 2, 3	4, 5, 6, 7
Anzahl Ringe:	24	25
Drehzahl:	0-22 min ⁻¹	
Schutzart:	IP 65	
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 55 °C	

- **Transformator:**

Hersteller:	IEO Transformatoren B.V.		ELTAS
Bezeichnung:	T50IND	T51IND	Öl-Transformator, hermetisch geschlossen mit Wellenwand
WEA Variante:	1, 3, 4	2, 4	1, 3, 4
Typ:	flüssigkeitsgefüllt		
Frequenz:	50 Hz		
Nennleistung:	5000 kVA	5100 kVA	5100 kVA
Nennspannung (HV):	21 kV ¹⁰	21 kV ¹⁰	30 kV
Nennspannung (LV):	0,69 kV	0,69 kV	0,69 kV
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	5 Stufen ± 2,5 %	± 3 x 2,5 %	±2 x 2.5 %

¹⁰ Die HV-Spannungsebene kann projektspezifisch angepasst werden.

Kühlung:	KNAN	KNAN	KNAN
Schutzart:	IP 00	¹¹	IP 54
Max. Installations- höhe:	1000 m	¹¹	1000 m
Betriebstempe- raturbereich:	-25 °C bis 40 °C	max. 40 °C	-25 °C bis 40 °C
Hersteller:	J. Schneider Elektrotechnik		
Bezeichnung:	HONW 6000A - 2018T 11001	HPNW 6500A-2034T12001	HPNW 6500A-2035T10001
WEA Variante:	5	5, 6, 7	5, 6, 7
Typ:	flüssigkeitsgefüllt		
Frequenz:	50 Hz		
Nennleistung:	6000 kVA	6500 kVA	6500 kVA
Nennspannung (HV):	20 kV	33 kV	10 kV
Nennspannung (LV):	0,69 kV	0,69 kV	0,69 kV
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+4 x 2,5%	±2 x 5%	+4 x 2,5%
Kühlung:	KNAN	KFAF	KFAF
Schutzart:	IP 00	IP 00	IP 00
Max. Installations- höhe:	1000 m	1000 m	1000 m
Betriebstempe- raturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C

¹¹ In den Herstellerunterlagen nicht angegeben.

Zugehörige	[1.1.226] -	[1.1.102] - [1.1.104]	[1.1.102], [1.1.104]
Dokumentation:	[1.1.230]		

- **Mittelspannungsschaltanlage:**

Hersteller:	Siemens	Ormazabal
Bezeichnung:	8DJH	Cgm.3
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Frequenz:	50/60 Hz	50/60 Hz
Nennspannung:	24 kV ¹⁰	36 kV
Nennstrom (Stromschiene):	630 A	400/630A
Schutzart		
- Panel:	IP 2X	IP 2XD
- Tank:	IP 65	IP X8
Isolationsmedium:	SF ₆	SF ₆
Max. Installationshöhe:	≤ 1000 m	≤ 2000 m
Betriebstempera- turbereich:	-10 °C bis 55 °C ¹²	-40 °C bis 40 °C
Schutzrelais:	7SJ82	WIC1-3PE

- **Blitzschutz**

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

- **Netzanschlussbedingungen [1.1.1]**

WEA Variante:	1 - 7
Betriebsspannung mit Toleranz:	21 kV ± 10 % ¹³
Betriebsfrequenz mit Toleranz:	50 Hz ± 2 Hz
Spannungsschieflast:	Max. 2 %
Netzausfall:	1/Jahr

¹² Der Temperaturbereich der Schaltanlage ist abhängig von der sekundären Schutzeinrichtung. Lagerwey installiert ein Siemens Siprotec 5 Schutzrelais.

¹³ Entsprechend der Schutzeinstellungen der Mittelspannungsschaltanlage

5 Prüfbemerkungen

5.1 Methode

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit, Plausibilität und Konformität zu den in Kapitel 2 aufgeführten Standards geprüft. Die geprüften Dokumente sind in Kapitel 1 aufgelistet. Weiterhin wurde die Funktionalität der elektrischen Ausrüstung mit den Schaltplänen geprüft und die korrekte Dimensionierung der elektrischen Komponenten kontrolliert.

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 Die Konformität der Erdungsanlage des Fundamentes mit den einschlägigen Standards (DIN EN 50522, bzw. DIN 18014 für das Erdungssystem einer Hochspannungsanlage) und die Berücksichtigung der lokalen Vorschriften und Bedingungen vor Ort sind in Form eines Berichts zu dokumentieren. Dieser soll von einem lokalen Experten erstellt und als Teil der WEA Dokumentation übermittelt werden. Lagerwey hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.
- 5.2.3 Es ist darauf zu achten, dass es im Blitzschutz- und Erdungssystem keine Unterbrechungen gibt.
- 5.2.4 Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Kabel von Nagetieren oder anderen Tieren beschädigt werden können, müssen bewehrte Kabel oder Schutzrohre verwendet werden. Bei der Verlegung von Erdkabeln ist auf eine ausreichende Verlegetiefe zu achten.
- 5.2.5 Die Erfüllung der Anforderungen der lokalen Netzbetreiber und die Einhaltung der Netzanschlusskriterien sind von Lagerwey 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 WEA und der Windparks zu erbringen.
- 5.2.6 Die Inbetriebnahme der elektrischen Ausrüstung der Anlage hat entsprechend der IEC 60364-6-61 „Errichten von Niederspannungsanlagen“, Teil 6: „Prüfungen“, Kapitel 61: „Erstprüfung“ zu erfolgen. Der dafür erstellte Testbericht ist dem Betreiber der WEA als Teil der Anlagendokumentation zu übergeben.

5.2.7 Es sind die lokalen Vorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit zu beachten. In Deutschland sind vor allem das EMV-Gesetz sowie die Europäische EMV-Richtlinie 2014/30/EU einzuhalten.

5.3 Prüfergebnis

5.3.1 Allgemeine Anforderungen an das elektrische System

Die im Kapitel 4 aufgeführten Komponenten wurden bei der Typenzertifizierung der ENERCON EP5 Plattform der E-136, E-147, E-160, E-147 E2 und E160 E2 bereits auf die Erfüllung der Anforderungen der DIN EN 61400-1 [2.3] und IEC 61400-22 [2.2] positiv geprüft [1.2.15]. Es gibt keine Abweichung von den allgemeinen Anforderungen an das elektrische System gemäß DIN EN 61400-1 [2.3] und DIBt 2012 [2.1].

In Revision 2 wurde der Permanentmagnet-Synchrongenerator Typ EP5-GU-E160-E1 für die WEA E-160 aufgenommen. Der Generator wird von ENERCON hergestellt [1.1.14]. Der EP5-GU-E160-E1 ist gemäß IEC 60034-1 [2.4] ausgelegt.

Die Typenschild-Zeichnung des Generators EP5-GU-E160-E1 einschließlich der Angaben zum Betriebstemperaturbereich wurden noch nicht eingereicht. Da der Generator bis jetzt nicht verwendet wurde, dagegen haben wir keine Einwände.

In Revision 3 dieses Berichtes wurde der Permanentmagnet-Synchrongenerator Typ E-147 E2 EP5-GU-01 [1.1.20] - [1.1.22] von ENERCON für die E-147 EP5 E2 Konfiguration aufgenommen. Der E-147 E2 EP5-GU-01 ist gemäß IEC 60034-1 [2.4] ausgelegt. Die Anforderungen der IEC 61400-1 [2.3] werden erfüllt.

In Revision 1 dieses Berichts wurde der alternative Umrichter ACS880-87CC-5200A/4800A-7 von ABB hinzugefügt. ABB bestätigt, dass der ACS880-87CC-5200A/4800A-7 konform zu den EU-Richtlinien 2014/35/EU und 2014/30/EU ist, und die Anforderungen der EN 61800-5-1 [2.6] und EN 61800-3 [2.7] erfüllt. Der von Eltas hermetisch abgeschlossener mit Wellenwand Öl-Transformator (5100 kVA) [1.1.223] - [1.1.225] wurde auch aufgenommen. Der Transformator ist nach IEC 60076 ausgelegt. Darüber hinaus sind weitere Spezifikationen für die Mittelspannungsschaltanlage von Lagerwey in diese Revision hinzugefügt worden. Ebenso eine alternative Mittelspannungsschaltanlage von Ormazabal [1.1.248] - [1.1.253] wurde aufgenommen.

In Revision 3 dieses Berichtes wurde der flüssigkeitsgefüllte Transformator der Bezeichnung HONW 6000A - 2018T 11001 von J. Schneider Elektrotechnik hinzugefügt [1.1.227], [1.1.228]. Dieses Design entspricht der technischen Spezifikation [1.1.226] von Lagerwey. Der Transformator erfüllt die Anforderungen der Norm IEC 60076-1 [2.10].

In Revision 4 wurde die WEA Variante E-160 EP5 E3 hinzugefügt. Diese ist mit einer E-Nacelle ausgestattet. Auf der E-Nacelle sind auch die hauptelektrischen Komponenten, Umrichter, Transformator und Mittelspannungsschaltanlage installiert [1.1.6], [1.1.7]. Eine Isolationskoordinationsstudie für die E-160 EP5 E3 ist noch einzureichen [6.5]. Das elektrische System der E-160 EP5 E3 ist gemäß der IEC 61400-1 (Ed.4) [2.13] und DIBt

2012 [2.1].ausgelegt. Alle elektrotechnischen Anforderungen werden erfüllt, wenn die Auflagen [6.4] und [6.5] auf dem Kapitel 6 geschlossen sind.

In Revision 4 dieses Berichtes wurde auch der alternative Umrichter ACS880-77CC-6880A/5500A-7 von ABB hinzugefügt [1.1.53] - [1.1.55]. Eine vorläufige Version des Hardware-Manuals wurde eingereicht [1.1.52]. Die finale Version des Hardware-Manuals sollte eingereicht werden. ABB bestätigt die Konformität des ACS880-87CC-5200A/4800A-7 mit den EU-Richtlinien 2014/35/EU und 2014/30/EU gemäß EN 61800 – 5-1 und EN 61800-3 [1.1.56]. Die Prüfberichte einschließlich der Typprüfung und Entladezeit der Kondensatoren des ACS880-77CC-6880A/5500A-7 müssen noch eingereicht werden [6.4].

5.3.2 Schutz- und Trenneinrichtungen

Die WEA der ENERCON EP5 Plattform sind mit Schutzgeräten zum Schutz der elektrischen Komponenten ausgestattet. Diese schützen die Turbine selbst sowie die externen elektrischen Systeme im Falle einer Fehlfunktion. Die korrekte Auslegung der Schutz- und Trenneinrichtungen wurde zusammen mit der Kurzschlussstromberechnung und den Schaltplänen bereits bei der Typenzertifizierung geprüft [1.2.15].

Die Schutz- und Trenneinrichtungen erfüllen die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und DIBt 2012.

5.3.3 Blitzschutz und Erdungssystem

Die WEA der ENERCON EP5 Plattform sind nach dem Gefährdungspegel LPL I gemäß IEC 61400-24 ausgelegt. Die Aufteilung in verschiedene Blitzschutzzonen ist im Dokument [1.1.57] dargestellt. Die Beschreibung ist plausibel und ausreichend.

Die WEA L136 ist mit dem Rotorblatt LM 66.5 P von LM Wind Power [1.1.58] - [1.1.60] ausgerüstet. Das LM 66.5 P ist mit dem zertifizierten Blitzschutzsystem Insulated Lightning Protection System (ILPS) [1.1.58] ausgestattet. Der Germanischer Lloyd (GL) hat die Einhaltung der Anforderungen der IEC 61400-24 für das ILPS geprüft [1.1.61], [1.1.62]. Lagerwey hat ein gültiges Komponentenzertifikat entsprechend IEC 61400-22 für das ILPS vom GL [1.1.63] vorgelegt.

Das Rotorblatt LM 71.8 P von LM Wind Power ist an der WEA L147 installiert. Bureau Veritas hat das Design des LM 71.8 P geprüft. Laut Design Evaluation Conformity Statement [1.2.11] ist auch dieses Rotorblatt mit dem zertifiziertem ILPS ausgerüstet.

Die WEA L160, L160 E2, L160 E3 und L147 E2 sind mit dem Rotorblatt LM 78.3 P von LM Wind Power ausgerüstet [1.2.1]. Bureau Veritas hat das Design des LM 78.3 P geprüft [1.1.68]. Dieses Rotorblatt ist mit einem von DNV GL Renewables Certification zertifizierten ILPS nach IEC 61400-22 ausgerüstet [1.1.67].

Das Blitzschutzsystem sowie das Erdungskonzept der ENERCON EP5 Plattform wurden bereits bei der Typzertifizierung auf Einhaltung der Anforderungen der Blitzschutznormen IEC 61400-24 [2.8] und der IEC 62305 (Serie) [2.9] geprüft [1.2.15].

Das Blitzschutz- und Erdungssystem der ENERCON EP5 Plattform erfüllen die Anforderungen der DIN EN 61400-1, DIN 18014 und der DIBt 2012.

In Revision 1 dieses Bewertungsberichts wurde ein alternatives Kabel zwischen dem Mittelspannungstransformator und der Mittelspannungsschaltanlage (N2XSY von Helukabel) [1.1.140] - [1.1.141] hinzugefügt. Darüber hinaus wurde das Design des Turmfußmoduls von Lagerwey geändert. Anstelle flexiblen Kupferkabel (300 mm²) wurden Sammelschienen zwischen Umrichter und Mittelspannungstransformator [1.1.142] installiert. So wurde auch die Spezifikation des Stromkabels von Lagerwey [1.1.132] aktualisiert.

Die Revision 1 dieses Berichts enthält ebenso die elektrischen Schaltpläne der 155 m Nabenhöhe der EP5 Plattform. Die neue Nabenhöhe wurde ebenfalls in dem Stromkabelübersicht [1.1.145] berücksichtigt.

5.3.4 Elektrische Leiter

Die Auslegung der Leistungskabel sowie einige Kabeldatenblätter sind in den Dokumenten [1.1.128] - [1.1.139] dargestellt. Vom Generator zum Kabelloop im Turm sind flexible Leitungen (48x1x150 mm² H07BN-F 450/750V Kupfer) installiert. Das Leistungskabel im Turm ist starr (48x1x400 mm² NAYY-J/0 Aluminium). Die Verbindung vom Leistungsumrichter zum Mittelspannungstransformator ist mit 24 Kabeln (24x1x300 mm² H07BN4-F 450/750V Kupfer) hergestellt. Zwischen Transformator und Mittelspannungsschaltanlage wird das Mittelspannungskabel YMeKrvaslqwd 12/20 kV installiert.

Die Auslegung der Kabel ist plausibel und nachvollziehbar. Die Prüfung der elektrischen Leiter ergab keine Abweichungen von der DIN EN 61400-1 und der DIBt 2012.

5.3.5 Selbsterregung

Die WEA der ENERCON EP5 Plattform werden bei Netzausfall über den Umrichter sicher vom Netz getrennt. Damit sind die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und DIBt 2012 bezüglich Selbsterregung erfüllt.

5.3.6 Weitere Anmerkungen

Das Sicherheitssystem der ENERCON EP5 Plattform ist in [1.2.14] dargestellt. Die Sensoren und Aktoren des Sicherheitssystems sind korrekt in den Schaltplänen abgebildet.

In Revision 10 wurde ein Dokument mit der technischen Beschreibung der Fault Ride Through (FRT) Funktionen des E-160 EP5 E3 eingereicht [1.2.21]. Ein Chopper-Bremswiderstand, der die Nennwirkleistung für mindestens zwei Sekunden aufnehmen kann, ist im Design der ENERCON EP5 Plattform enthalten. Die Anforderungen der IEC 61400-1 sind erfüllt.

6 Auflagen

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


- 6.1 Abgeschlossen – Der Generator EP5-GU-E160-E1 wird von ENERCON nicht verwendet.
- 6.2 Für die Erstellung der TTCS der E160 E2 muss der Wärmeprüfungsbericht des Generators E-160 E2 EP5-GU-01 vorliegen
- 6.3 Abgeschlossen - Für die Erstellung der TTCS der E160 E2 muss der Typprüfbericht des Transformators HPNW 6500A-2035T10001 vorliegen
- 6.4 Die Prüfberichte einschließlich Typprüfung und Entladungszeit der Kondensatoren des Umrichters ACS880-77CC-6880A/5500A-7 sind für die Erstellung der TTCS der E-160 EP5 E3 vorzulegen.
- 6.5 Eine Isolationskoordinationsstudie ist vor der Ausstellung des TC der E-160 EP5 E3 vorzulegen.

7 Schlussfolgerung

Das elektrische System und der Blitzschutz der E-136, E-147, E-160, E-147 E2 und E-160 E2 erfüllen die Anforderungen der IEC 61400-1 (Ed. 3) [2.3]. Das elektrische System und der Blitzschutz der E160 EP5 E3 erfüllt die Anforderungen IEC 61400-1 (Ed.4) [2.13] und somit auch die Anforderungen der DIBt 2012 [2.1], wenn die Auflagen auf dem Kapitel 6 geschlossen sind.

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

Verfasser:



M. Sc. Carlos Silva

Freigabe:



M. Sc. Holger Grafe

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON EP5

Unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen

- Rotorblatt LM 78.3 P -

TÜV NORD Bericht-Nr.:	8118796497-3 D, Rev. 4
Gegenstand der Prüfung:	Strukturnachweis und statischer Blatttest für das Rotorblatt LM 78.3 P mit Lasten nach DIBt (2015)
Anlagenhersteller:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	LM Wind Power Group Jupitervej 6 6000 Kolding Denmark

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	21.01.2021	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Polster
1	03.03.2021	140 m Nabenhöhe ergänzt; Handbuch [1.2.31] hinzugefügt; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. M. Polster
2	17.05.2021	Konfiguration 2 und 3 aufgenommen; Dokumente [1.2.1] und [1.2.2] aktualisiert; Dokumente [1.2.4] und [1.2.14] - [1.2.22] hinzugefügt	Dipl.-Ing. M. Bätge
3	18.05.2021	Lasten der Konfiguration 3 aktualisiert: [1.2.15], [1.2.16] und [1.2.22]	Dipl.-Ing. M. Bätge
4	01.11.2021	LM 78.3 P Gen. C und Konfiguration 4 hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.1], [1.2.2] & [1.2.21]; Dokumente hinzugefügt: 1.1, [1.2.5], [1.2.6], [1.2.8], [1.2.23] - [1.2.25], [1.2.27], [1.2.30], [1.2.32] & [1.2.36]; redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. M. Polster

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einleitung	8
4	Beschreibung der Komponente	8
4.1	Klimatische Bedingungen.....	8
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	8
4.3	Designlasten	9
4.4	Materialien.....	10
5	Durchgeführte Prüfung.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen	11
5.3	Ergebnisse	11
5.4	Schnittstellen.....	12
6	Auflagen.....	12
7	Schlussfolgerung	13

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Evaluation Conformity Statement

- [1.2.1] Bureau Veritas Certification:
"Design Evaluation Conformity Statement LM 78.3 P"
Zertifikats-Nr.: 190061-CS-DE-01-4, Rev. 4, Datum: 15.10.2021

- [1.2.2] Bureau Veritas Certification:
"Evaluation report, Design Evaluation, LM 78.3 P rotor blade"
Bericht-Nr.: 190061-DE-BLA-01-4, Rev. 4, Datum: 15.10.2021

- [1.2.3] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-02-1"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-02-1, Rev. 0, Datum: 24.09.2020

- [1.2.4] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-04-0"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-04-0, Rev. 0, Datum: 16.04.2021

- [1.2.5] Bureau Veritas Certification:
"Evaluation report, Type Testing Evaluation, LM 78.3 P rotor blade"
Bericht-Nr.: 190061-TY-BLA-01-0, Rev. 0, Datum: 15.10.2021

- [1.2.6] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-05-0"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-05-0, Rev. 0, Datum: 29.10.2021

Auslegungslasten

- [1.2.7] "Load Conversion Report, LM 78.3 P"
Dokument-Nr.: TR-10898, Rev. A4, Datum: 06.07.2020

- [1.2.8] "Load Conversion Report, LM 78.3 P"
Dokument-Nr.: TR-10898, Rev. A5, Datum: 17.08.2021

WEA-Lasten

- [1.2.9] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for Enercon-Lagerwey
5.5 MW E-160 143mHH Wind Turbine"
Dokument-Nr.: TR-13206, Rev. A1, Datum: 27.08.2020

- [1.2.10] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T143M2 and T140M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZ2 GK2
- Extreme Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050358-R1, Rev. R1, Datum: 11.12.2020
- [1.2.11] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T143M2 and T140M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZ2 GK2
- Fatigue Equivalent Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050359-R0, Rev. R0, Datum: 24.08.2020
- [1.2.12] TÜV SÜD Industrie Service GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme, Bewertung der Konstruktion - Lastannahmen,
Windenergieanlage ENERCON / Lagerwey E-160 EP5 E2 - 5500 kW Rotorblatt
Typ LM 78.3 P Gen B, Nabenhöhe 140 m und 143 m über Geländeoberkante,
WEA-Klasse IIIA gemäß IEC und Windzone 2, Geländekategorie II gem. DIBt"
Bericht-Nr.: 3327372-1-d, Rev. 0, Datum: 17.12.2020
- [1.2.13] TÜV SÜD Industrie Service GmbH:
E-Mail "AW: request to for evaluated loads parameters E-160 E2 143m&140m
Loads for TUV NORD"
Dokument: 2021-03-02_Mail_A.Duerbaum.pdf
Autor: Andreas Dürbaum, gesendet: 02.03.2021
- [1.2.14] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for Enercon-Lagerwey 5.5 MW
E-160 E2 120mHH & 166mHH Wind Turbine"
Dokument-Nr.: TR-14465/A2, Rev. A2, Datum: 15.04.2021
- [1.2.15] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T166M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Design Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050383-R1, Rev. 1, Datum: 11.05.2021
- [1.2.16] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T166M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Extreme Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050384-R1, Rev. 1, Datum: 11.05.2021
- [1.2.17] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T166M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Fatigue Equivalent
Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050385-R0, Rev. 0, Datum: 28.03.2021
- [1.2.18] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T120M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Design Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050386-R0, Rev. 0, Datum: 09.04.2021
- [1.2.19] Lagerwey Wind BV:
"L160 P5500 T120M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Extreme Loads"
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050387-R0, Rev. 0, Datum: 13.04.2021

[1.2.20] Lagerwey Wind BV:

"L160 P5500 T120M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Fatigue Equivalent Loads"

Dokument-Nr.: M00-C2-40-050388-R0, Rev. 0, Datum: 13.04.2021

[1.2.21] TÜV NORD CERT GmbH:

"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage EP5 E160 E2, RB LM 78.3 P, NH 120 m (T120M2), DiBt WZ S GK S, - Lastannahmen -"

Bericht-Nr.: 8119042164-1 D V, Rev. 1, Datum: 03.06.2021

[1.2.22] TÜV NORD CERT GmbH:

"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage EP5 E160 E2, RB LM 78.3 P, NH 166 m (T166M2), DiBt WZ S GK S, - Lastannahmen -"

Bericht-Nr.: 8119042164-1 D VI, Rev. 1, Datum: 18.05.2021

[1.2.23] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW E-160 EP5 E3 98mHH 50Hz Wind Turbine"

Dokument-Nr.: TR-15949/A1, Rev. A1, Datum: 28.10.2021

[1.2.24] ENERCON GmbH:

"Load report Rotor blade LM783P_2p"

Dokument-Nr.: D02463292-2.2, Rev. 2.2, Datum: 27.10.2021

[1.2.25] TÜV NORD CERT GmbH:

"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3 RB LM 78.3 P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DiBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -"

Bericht-Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 0, Datum: 29.10.2021

Zeichnungen

[1.2.26] "Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon" (Gen. B)

Zeichnungs-Nr.: DR-15179, Rev. A3, Datum: 31.05.2020

[1.2.27] "Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon" (Gen. C)

Zeichnungs-Nr.: DR-15179, Rev. A4, Datum: 18.11.2020

[1.2.28] "Main Drawing, LM 78.3 P"

Zeichnungs-Nr.: DR-15183, Rev. A1, Datum: 15.11.2019

Blatt Design Spezifikation und Handbuch

[1.2.29] "Technical Blade Specification of the LM 78.3 P rotor blade for ENERCON E-160 turbine" (Gen. B)

Dokument-Nr.: BS-00609, Rev. A8, Datum: 07.07.2020

[1.2.30] "Technical Blade Specification of the LM 78.3 P rotor blade for ENERCON E-160 turbine" (Gen. C)

Dokument-Nr.: BS-00609, Rev. B4, Datum: 06.10.2021

[1.2.31] "Technical Blade Manual, LM 78.3 P" (Gen. B)
Dokument-Nr.: BM-00488, Rev. A3, Datum: 14.07.2020

[1.2.32] "Technical Blade Manual, LM 78.3 P" (Gen. C)
Dokument-Nr.: BM-00488, Rev. A6, Datum: -

Aerodynamische Anbauteile und Blitzschutzsystem

[1.2.33] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Vortex Generators Mk. II - unspecific LM rotor blades -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115417663-3 E I, Rev. 1, Datum: 11.01.2019

[1.2.34] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:
"Evaluation Report - Rotor Blade LM 58.7 P5 incl. Vortex Generators MK II,
optional T-Spoiler MK II, Spinner Ring and Serrations MK II -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8116029212-3 E, Rev. 0, Datum: 12.07.2018

[1.2.35] DNV GL Renewables Certification:
"Component Certificate, SAFE Receptor - Insulated Lightning Protection
System (ILPS)"
Zertifikats-Nr.: CC-DNVGL-SE-0074-04682-2, Datum: 24.04.2020,
Gültig bis 29.04.2024

[1.2.36] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Serrations Mk III - Unspecific LM rotor blades -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119016506-3 E V, Rev. 1, Datum: 01.10.2021

2 Prüfgrundlagen

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

Anerkannte Regelwerke

[2.2] Germanischer Lloyd:
"Vorschriften und Richtlinien, IV - Industriedienste, Teil 1 - Richtlinie für die
Zertifizierung von Windenergieanlagen", Edition 2010

[2.3] International Standard IEC 61400-22:
"Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification"
Edition 1.0, 2010-05

3 Einleitung

Dieses Dokument beschreibt die Prozedur und die Ergebnisse der Nachweisführung des Rotorblattes LM 78.3 P für die Windenergieanlage ENERCON EP5 nach der Richtlinie DIBt 2015 [2.1], basierend auf dem vom Bureau Veritas ausgestellten Design Evaluation Conformity Statement [1.2.1] - [1.2.2] gem. IEC 61400-22 [2.3].

In Revision 4 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde die Rotorblattvariante LM 78.3 P Gen. C sowie die Lasten der Konfiguration 4 hinzugefügt.

4 Beschreibung der Komponente

4.1 Klimatische Bedingungen

Das Rotorblatt ist für die klimatischen Bedingungen nach DIBt 2015 [2.1] ausgelegt und geprüft worden.

4.2 Beschreibung der Komponentenparameter

Das Rotorblatt hat eine Länge von 78,3 m. Es besteht aus Glasfaser verstärkten Polyester, der als Sandwich Konstruktion realisiert wird. Das Rotorblatt wird im Harz-Infusionsverfahren produziert. Die Verbindung zwischen Blattwurzel und Blattlager ist mittels eingebetteter Stahlhülsen realisiert. Das Rotorblatt ist gem. der Blattspezifikationen [1.2.29] und [1.2.30] mit Vortex Generatoren Mk. II, T-Spoiler Mk. II und Serrations Mk. II bzw. Mk. III bestückt.

Im Design Evaluation Conformity Statement [1.2.1] werden die Varianten des LM 78.3 P behandelt, Gen. A, Gen. B und Gen. C. In dieser Gutachtlichen Stellungnahme werden lediglich die Varianten Gen. B und Gen. C betrachtet.

Nach [1.2.1] bzw. [1.2.29] und [1.2.30] hat das Rotorblatt LM 78.3 P die folgenden Eigenschaften:

	LM 78.3 P Gen. B	LM 78.3 P Gen. C
1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung	0,451 ± 5 %	0,449 ± 5 %
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung	0,744 ± 5 %	0,743 ± 5 %
Blattmasse (inkl. Blattflansch / exkl. Bolzen)	24492 kg ± 3 %	24391 kg ± 3 %
Statisches Moment (Blattwurzel)	5822 kNm ± 4,5 %	5812 kNm ± 4,5 %
Auslegungsdauer	20 Jahre	25 Jahre

Table 4.1: Rotorblattvarianten

Das Rotorblatt LM 78.3 P ist für den Betrieb an folgenden Konfigurationen vorgesehen:

Nr.	WEA Bezeichnung	Blatt-variante	Aerodyn. Anbauteile	Windklasse	Geländeklasse	geprüft mit
1	E160 P5500 T140M2 / T143M2	Gen. B Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II	DIBt (2015): 2	DIBt (2015): 2	Lastvergleich [1.2.3]
2	E160 P5500 T120M2	Gen. B Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.4]
3	E160 P5500 T166M2	Gen. B Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.4]
4	E-160 EP5 E3-HT- 166-ES-C-01	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.2], [1.2.6]

Table 4.2: Abgedeckte Konfiguration

4.3 Designlasten

Die Lastannahmen sind in der folgenden Tabelle spezifiziert:

Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Nenn-leistung	Naben-höhe	Spezifiziert in	Geprüft in
1	E160 P5500 T140M2 / T143M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	140 m / 143 m	[1.2.10], [1.2.11]	[1.2.12]
2	E160 P5500 T120M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	120 m	[1.2.15] - [1.2.17]	[1.2.21]
3	E160 P5500 T166M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	166 m	[1.2.18] - [1.2.20]	[1.2.22]
4	E-160 EP5 E3-HT- 166-ES-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.24]	[1.2.25]

Table 4.3: Abgedeckte Konfiguration

In den Lastannahmen [1.2.12] und [1.2.13] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

- 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0,440 Hz
- 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung: 0,755Hz
- Blattmasse (inkl. Blattbolzen): 24500 kg
- Statisches Moment (Blattwurzel): 593190 kgm

In den Lastannahmen [1.2.21] und [1.2.22] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

- 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0,440 Hz
- 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung: 0,755Hz
- Blattmasse (inkl. Blattbolzen): 24285 kg
- Statisches Moment (Blattwurzel): 587681 kgm

In den Lastannahmen [1.2.25] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:	0,462 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung:	0,763Hz
Blattmasse (inkl. Blattbolzen):	24753 kg
Statisches Moment (Blattwurzel):	601304 kgm

In den Lastannahmen [1.2.12], [1.2.21], [1.2.22] und [1.2.25] sind die aerodynamischen Effekte der Anbauteile berücksichtigt. Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 20 Jahren. Die Auslegungszeit für Konfiguration 4 beträgt abhängig von den Windbedingungen 20 oder 25 Jahre.

Sonderereignisse verursacht durch den Transport und Errichtung sind nicht berücksichtigt worden. Spezielle Annahmen der Lastrechnungen können den zugehörigen Nachweisberichten entnommen werden.

4.4 Materialien

Die geprüften Materialien nach [1.2.2] sind zu verwenden.

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethode

Das Rotorblatt LM 78.3 P wurde in [1.2.1] nach IECRE OD-501 Ed. 2.0 in Verbindung mit IECRE OD-501-1 Ed. 1.0 und IEC 61400-1 Ed. 4 für die Lasten nach [1.2.7] zertifiziert. Die GL-Richtlinie [2.2] wurde als anerkanntes Regelwerk ebenfalls herangezogen. Die Anforderungen der IECRE OD-501 Ed. 2.0 decken die Anforderungen der DIBt 2015 [2.1] ab.

Das Design Evaluation Conformity Statement [1.2.1] deckt die Prüfung der Rotorblattschale, des Handbuchs und des Blitzschutzsystems nach IEC 61400-24 [1.2.35] ab. Bezüglich der Vortex Generatoren Mk. II wird in [1.2.2] auf die Prüfung in [1.2.33] verwiesen. Die Anbauteile Serrations Mk. II und Mk. III sowie T-Spoiler Mk. II sind in [1.2.2] als auch in [1.2.34] und [1.2.36] geprüft. In den Lastannahmen sind die Effekte dieser Anbauteile berücksichtigt.

Es wurde überprüft, ob das den Turbinenlasten zugrundeliegende Blattmodell den tatsächlichen Eigenschaften des Rotorblattes entspricht.

Im Lastvergleich [1.2.9] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.7] mit den Lasten der Konfiguration 1 [1.2.10] und [1.2.11] verglichen.

In [1.2.3], [1.2.4] und [1.2.6] wurde der Vergleich der Lasten des statischen Blatttests [1.2.5] mit den Auslegungslasten berücksichtigt.

Im Lastvergleich [1.2.14] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.7] mit den Lasten der Konfiguration 2, [1.2.15] - [1.2.17], und Konfiguration 3, [1.2.18] - [1.2.20], verglichen.

Die Bolzenverbindung zum Blattlager ist nicht Bestandteil dieser Prüfung. Der Turmfreigang ist nicht Teil dieser Prüfung, ist aber in den Berichten zu den Lastannahmen [1.2.12], [1.2.21], [1.2.22] und [1.2.25] geprüft worden.

5.2 Anmerkungen

Keine

5.3 Ergebnisse

Das Blattmodell stimmt im Rahmen technischer Toleranzen mit den Eigenschaften des Blattes überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.12], [1.2.21], [1.2.22] und [1.2.25] ab.

Revision 0

Der Lastvergleich [1.2.9] und die Auslegungslasten [1.2.7] sind in der Konformitätsbescheinigung des Bureau Veritas [1.2.3] geprüft. Dort wird ebenfalls die Gültigkeit des statischen Blatttests für die Konfiguration 1 bestätigt.

Revision 1

Es wurde das Handbuch [1.2.31] hinzugefügt und die 140 m Nabenhöhe ergänzt, die bereits in den Lastannahmen [1.2.12] enthalten war. Es war keine weitere Evaluierung erforderlich und die Prüfergebnisse behalten somit ihre Gültigkeit.

Revision 2

Es wurden die Konfigurationen 2 und 3 mit den Nabenhöhen 120 m und 166 m hinzugefügt. Der Lastvergleich [1.2.14] ist in der Konformitätsbescheinigung des Bureau Veritas [1.2.4] geprüft. Dort wird ebenfalls die Gültigkeit des statischen Blatttests für die Konfigurationen 2 und 3 bestätigt.

Revision 3

Die Lasten der Konfiguration 3 wurden aktualisiert, jedoch blieben die Lasten für das Rotorblatt unverändert.

Revision 4

Es wurde die Rotorblattvariante LM 78.3 P Gen. C sowie die Lasten der Konfiguration 4 hinzugefügt.

Die Änderung des Designs der Gen. C im Vergleich zur Gen. B wurde in [1.2.2] geprüft. Zudem wird in [1.2.2] die Gültigkeit des Nachweises des LM 78.3 P Gen. C mit Designlasten [1.2.8] bestätigt. In [1.2.6] wird die Gültigkeit mit Konfigurationslasten [1.2.23] bestätigt. Die Gültigkeit der statischen Blatttests gegenüber den Designlasten [1.2.8] und Konfigurationslasten [1.2.23] wird in [1.2.5] bzw. [1.2.6] bestätigt.

Die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.24] wurden in [1.2.25] geprüft. Der interne Vergleich der Konfigurationslasten mit den Designlasten zeigt, dass die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.24] durch die Designlasten in [1.2.8] und Konfigurationslasten in [1.2.23] abgedeckt sind. 1.1 kann damit bestätigt werden.

5.4 Schnittstellen

Die folgenden Schnittstellen sollen für den Maschinenbau betrachtet werden:

- 5.4.1 Die Prüfung der Nachweise zu den Blattbolzen muss im Rahmen der Maschinenbauprüfung erfolgen.

6 Auflagen

- 6.1 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.
- 6.2 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.

Entsprechend [1.2.2] sind die folgenden Auflagen ebenfalls einzuhalten:

- 6.3 Jede Änderung des Designs des Rotorblatts LM 78.3 P ist durch Bureau Veritas Certification zu überprüfen.
- 6.4 Die Lasten dürfen, unabhängig von den betrieblichen Umgebungsbedingungen, die für Zertifizierung verwendeten Lasteinhüllenden, nicht überschreiten.
- 6.5 Der Einfluss der Umweltbedingungen bei Betrieb ist unter Berücksichtigung der im Design angenommenen Umweltbedingungen zu bewerten und darf die strukturelle Integrität der Rotorblätter nicht beeinträchtigen.
- 6.6 Ein gültiges Komponentenzertifikat des Blitzschutzes ist zu pflegen.
- 6.7 Die für die Produktion verwendeten Materialien haben die Anforderungen gemäß den Prüfgrundlagen in Kapitel 2 zu erfüllen und keine geringeren Festigkeitswerte als die im Design angenommenen aufzuweisen.

- 6.8 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach [2.2] erfüllt.
- 6.9 Es ist zu gewährleisten, dass Resonanz weder durch aerodynamische Anregung oder durch andere Komponenten auftritt.

7 Schlussfolgerung

Vorausgesetzt die zuvor genannten Prüfbemerkungen und Auflagen werden berücksichtigt, erfüllt das Rotorblatt die Prüfgrundlagen gemäß Kapitel 2.

Es bestehen keine Bedenken, das Rotorblatt LM 78.3 P an der Windenergieanlage ENERCON EP5 mit den in Kapitel 4.3 aufgeführten Konfiguration 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. Polster

Freigegeben:



Dipl.-Ing. M. Passow

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON EP5

- Maschinenbauliche Komponenten -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-4 D Rev. 0

Anlagenspezifikation: Bezeichnung: E-160 EP5 E3
Varianten: siehe Tab. 4.2
Anlagenparameter: siehe Tab. 4.2

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Prüfumfang: Auslegungsanforderungen für maschinenbauliche
Komponenten gem. DIN EN IEC 61400-1:2019-12
inkl. deren Verwendung in Windenergieanlagen

Auslegungslasten: Geprüfte Lastannahmen

Dieser Prüfbericht umfasst 18 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	26.11.2021	- Erstausgabe	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	6
1.3	Lastannahmen	6
1.4	Zugehörige Prüfberichte	6
1.5	Hauptzeichnung	7
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einleitung	8
4	Beschreibung der Windenergieanlage	8
4.1	Anlagenkonzept	8
4.2	Umgebungsbedingungen	8
4.3	Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen	8
4.3.1	Blattlager	9
4.3.2	Blattverstellgetriebe.....	9
4.3.3	Blattarretierung	10
4.3.4	Rotornabe	10
4.3.5	Hauptlager	10
4.3.6	Achszapfen	11
4.3.7	Rotorträger	11
4.3.8	Achsdeckel.....	11
4.3.9	Maschinenträger	11
4.3.10	Rotorrahmen	12
4.3.11	Stator Tragstruktur	12
4.3.12	Wartungsbremse.....	12
4.3.13	Rotorarretierung	12
4.3.14	Azimutlager	13
4.3.15	Azimutgetriebe	13
4.3.16	Hydrauliksystem.....	14
4.3.17	Leitschaufeln Generatorkühlung (optional)	14
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	14
5	Durchgeführte Prüfungen.....	15
5.1	Prüfmethoden.....	15
5.2	Mechanische Komponenten und Antriebe.....	15

5.3	Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen	16
5.4	Hinweise und Annahmen	16
5.5	Prüfergebnis	17
5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm	17
6	Ausstehende Nachweise	17
7	Bedingungen	17
8	Schlussfolgerungen	18

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Blattlager

- [1.1.1] Liebherr Components Biberach GmbH:
Technical data sheet - Lagerwey Blade Bearing EP5; E160 - 12960552
Dokument Nr.: pKUD03355-080WJ18-
001_en_00_20210322_Lagerwey_EP5E160_PiB, Rev. 00, vom 08.03.2021
- [1.1.2] Liebherr Components Biberach GmbH:
Report FEA - Blade Bearing 12960552
Dokument Nr.: 20210319_fea03355-080WJ018-
001_rev1_Lagerwey_EP5_E160_PiB, Rev. 1, vom 19.03.2021
- [1.1.3] Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH:
Technical Data Sheet - Blade Bearing E-160 EP5 E2 - 83850080
Dokument Nr.: 19772_02, Rev. 02, vom 30.06.2021

Maschinenträger

- [1.1.4] Lagerwey Wind BV:
FEA of the EP5-E160-E3 nacelle casting
Dokument Nr.: M02-C2-40-000863-R0, Rev. R0, dated 20.08.2021
- [1.1.5] Lagerwey Wind BV:
SA of the EP5-E160-E3 nacelle casting
Dokument Nr.: M02-C2-40-000865-R0, Rev. R0, vom 20.08.2021

Stator Tragstruktur

- [1.1.6] Lagerwey Wind BV:
FEA of the EP5-E160-E3 stator base frame
Dokument Nr.: M03-C2-40-000858-R0, Rev. R0, vom 10.08.2021
- [1.1.7] Lagerwey Wind BV:
SA of the EP5-E160-E3 stator base frame
Dokument Nr.: M03-C2-40-000859-R0, Rev. R0, vom 10.08.2021

Azimutlager

- [1.1.8] Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH:
Technical Data Sheet rothe erde Large Diameter Slewing Bearing - Yaw
bearing E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: 19934_00, Rev. 00, vom 23.03.2021

- [1.1.9] Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.:
TMB Slewing Bearing Calculation Report - E-160 EP5 E3 Yaw Bearing
Dokument Nr.: CR2020-12-14/2, Rev. 2, vom 19.02.2021

Azimutgetriebe

- [1.1.10] Bonfiglioli Trasmital:
Technical Report - Yaw Drive E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: I21027D_D_rev1, Rev. 1, vom 31.08.2021
- [1.1.11] Liebherr Components Biberach GmbH:
Calculation Yaw gearbox ENERCON EP5 E3
Dokument Nr.: 2021-003-2, Rev. -, vom 26.05.2021

Azimutarretierung

- [1.1.12] ENERCON GmbH:
Berechnung Azimutmotor und -bremse E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D02235469, Rev. 2, vom 28.10.2021

Leitschaufeln Generatorkühlung

- [1.1.13] Lagerwey Wind BV:
Strength analysis distortion vanes for generator cooling
Dokument Nr.: M03-C2-40-000881-R0, Rev. R0, vom 24.09.2021

Schraubverbindungen

- [1.1.14] Lagerwey Wind BV:
FEA of the EP5-E160-E3 nacelle bolted connections (nacelle to generator)
Dokument Nr.: M02-C2-40-000872-R0, Rev. R0, vom 20.08.2021
- [1.1.15] Lagerwey Wind BV:
SA of the EP5-E160-E3 nacelle bolted connections (nacelle to generator)
Dokument Nr.: M02-C2-40-000873-R0, Rev. R0, vom 20.08.2021

Lastvergleich und Restsicherheitsbetrachtung

- [1.1.16] Lagerwey Wind BV:
Load set comparison EP5 - E-160 E3 - t98m, t114m, t120m & t166m IIIA WZ S
& IIB WZ S 25yr and Hor W40 + W110 25yr
Dokument Nr.: M00-C2-40-000875-R1, Rev. R1, vom 09.11.2021
- [1.1.17] Lagerwey Wind BV:
RSA EP5 Mach Components on basis of comparison 40-00875 - EP5 E-160 E3
Dokument Nr.: M00-C2-40-000876-R0, Rev. R0, vom 02.09.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Azimutlager

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Specification Yaw bearing E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D0971357-4.0, Rev. 4, vom 14.12.2020
- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Lastaufbereitung Azimutverstellungssystem E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D0969770-7.0, Rev. 7.0, vom 28.10.2021

Azimutgetriebe

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Technical specification Yaw gear E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D0971019, Rev. 4, vom 18.05.2021

Hydrauliksystem

- [1.2.4] Lagerwey Wind BV:
Hydraulic power unit EP5-E3 - design specification
Dokument Nr.: M02-C5-30-10953-R3, Rev. R3, vom 14.04.2021

Spezifikation Sphärogussteile

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

1.3 Lastannahmen

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3
P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S -
Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 0, vom 29.10.2021

1.4 Zugehörige Prüfberichte

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report - Wind Turbine Platform LP4 / EP5
- Machinery Components -
Bericht Nr.: 8114242475-4 E, Rev. 12, vom 28.09.2021

- [1.4.2] TÜV SÜD Industrie Service GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme - Bewertung der Konstruktion - Maschinenbauliche
Komponenten - Windenergieanlage ENERCON / Lagerwey E160 EP5 E1
Bericht Nr.: 3217980-75-d
Rev. 2, vom 15.01.2021

- [1.4.3] TÜV SÜD Industrie Service GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme - Bewertung der Konstruktion -
Strukturkomponenten Windenergieanlage ENERCON/Lagerwey E-160 EP5 E1
Bericht Nr.: 3217980-7-d
Rev. 2, vom 15.01.2021

- [1.4.4] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report - Wind Turbine Platform ENERCON EP5 - Design Basis -
Bericht Nr.: 8114242475-0 E I, Rev. 7, vom 03.11.2021

- [1.4.5] DNV GL Energy Renewable Certification:
Evaluation Report - Allowable Gear Stress Numbers acc. to ISO 6336-5,
Liebherr Components Biberach GmbH
Bericht Nr.: ER-DE-ISO6336-04848-1, Rev. 1, vom 02.05.2019

- [1.4.6] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3,
verschiedene Nabenhöhen und Winzonen - Turmkopfflansch -
Bericht Nr.: 8119616205-11 D, Rev. 0, vom 01.10.2021

1.5 Hauptzeichnung

- [1.5.1] ENERCON GmbH:
Gondel E-160 EP5 E3
Zeichnung Nr.: D02399059/0.1-de/en, Rev. -, vom 17.06.2021

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 IEC 61400-1:2019-12
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019)
Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019

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 [1.4.4] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer WEA Variante Nr. 1:	20 Jahre ($I_{ref} = 0.16$, $V_{ave} = 7.5$ m/s); 25 Jahre ($I_{ref} = 0.14$, $V_{ave} = 8.5$ m/s)
Blattverstellungssystem:	Verstellgetriebe mit Motor
Windrichtungsnachführung:	Verstellgetriebe mit Motor
Arretierung der Windrichtungsnachführung:	Motorbremsen der Verstellgetriebe
Generatortyp:	Permanent-magnet synchron
Generatorbezeichnung:	E-160 E2 EP5-GU-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	$-10^{\circ}\text{C} < t < +40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} < t < +50^{\circ}\text{C}$

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.

Einige der maschinenbaulichen Komponenten sind identisch mit denen der Windenergieanlagen E-160 EP5 E1/E2 und wurden den Prüfberichten [1.4.1] bzw. [1.4.2]/[1.4.3] entnommen.

4.3.1 Blattlager

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 12960552
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: KUD03355-080WJ18-001-000,
Rev. 00.2, vom 02.12.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Hersteller: Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 83850080
Material: 42CrMo4 V / Q+T
Hauptzeichnung Nr.: 092.80.3355.100.48.140D, Rev. F, vom 02.06.2021
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2 Blattverstellgetriebe

4.3.2.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Bonfiglioli Trasmital
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: 711 T3N
Produktcode: JB00009089
Getriebeübersetzung: 174,5
Hauptzeichnung Nr.: I7110T004601, Rev. B, vom 13.03.2020
Schnittzeichnung Nr.: A7110T012400, Rev. A, vom 28.02.2020
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: YP00012076, Rev. B, vom 13.03.2020
Motorbezeichnung: KEB 7608000-4000
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.2 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: DAT 400/3460
Produktcode: 12865698
Getriebeübersetzung: 175
Hauptzeichnung Nr.: 368 460 4000 99 0, Rev. 04.2, vom 18.06.2020
Schnittzeichnung Nr.: 368 460 4000 00 0, Rev. 02.2, vom 19.09.2019
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 460 4000 10 0, Rev. 02.6, vom 02.12.2019
Motorbezeichnung: KEB 7608000-4000
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3 Blattarretierung

4.3.3.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2+N/ S690QL
Hauptzeichnung Nr.: 20-902797, Rev. D, vom 03.05.2018
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.4 Rotornabe

4.3.4.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: Lagerwey Wind BV
Typ: Gussbauteil
Material: EN-GJS-400-18-LT
Guss Zeichnung Nr.: 20-040884, Rev. A, vom 06.03.2020
Bearbeitung Zeichnung Nr.: 20-040916, Rev. B, vom 29.03.2021
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5 Hauptlager

4.3.5.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: FAG Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Typ: Kegelrollenlager
Handelsbezeichnung: F-621876.TR1-WPOS
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-621876.TR1-WPOS 000, Rev. AD, vom 08.05.2020
Hinweis: Zwei Kegelrollenlager in O-Anordnung
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.2 Komponentenspezifikation

Hersteller: PSL, a.s.
Typ: Kegelrollenlager
Handelsbezeichnung: PSL612-402
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-402-PV_3, Rev. 3, vom 21.04.2020
Hinweis: Zwei Kegelrollenlager in O-Anordnung
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.6 Achszapfen

4.3.6.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	Lagerwey Wind BV
Typ:	Gussbauteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Guss Zeichnung Nr.:	20-031733, Rev. B, vom 26.03.2020
Bearbeitung Zeichnung Nr.:	20-031732, Rev. D, vom 18.09.2020
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.7 Rotorträger

4.3.7.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	Lagerwey Wind BV
Typ:	Gussbauteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Guss Zeichnung Nr.:	20-031731, Rev. B, vom 26.03.2020
Bearbeitung Zeichnung Nr.:	20-031730, Rev. D, vom 18.09.2020
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.8 Achsdeckel

4.3.8.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	Lagerwey Wind BV
Typ:	Stahlbauteil
Material:	S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.:	20-031514, Rev. B, vom 15.09.2020
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.9 Maschinenträger

4.3.9.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Gussteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.:	D02163255/0.0-de/en, Rev. -, vom 29.03.2021
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.10 Rotorrahmen

4.3.10.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	Lagerwey Wind BV
Typ:	Stahlbauteil
Material:	S235JR/S355J2
Hauptzeichnung Nr.:	20-031743, Rev. D, vom 08.01.2021
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.11 Stator Tragstruktur

4.3.11.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	Lagerwey Wind BV
Typ:	Stahlbauteil
Material:	S235JR/S355J2/S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.:	20-032148, Rev. A, vom 24.08.2020
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.12 Wartungsbremse

4.3.12.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Trebu Technology B.V.
Typ:	Hydraulische Scheibenbremse
Handelsbezeichnung:	AB-2-90
Hauptzeichnung Nr.:	200-290-100, Rev. 0, vom 12.02.2019
Anzahl der Bremsen:	6
Reibbelag:	TR-F14
Hinweis:	siehe 7.2
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.13 Rotorarretierung

4.3.13.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	Lagerwey Wind BV
Typ:	Stahlbauteil
Material:	34CrNiMo6
Hauptzeichnung Nr.:	20-030787, Rev. B, vom 30.01.2017
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14 Azimutlager

4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH
Typ:	Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung:	83951420
Material:	42CrMo4 V / Q+T
Hauptzeichnung Nr.:	092.55.3996.000.48.150D, Rev. A, vom 17.12.2020
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14.2 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.
Typ:	Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung:	Y033.60.3993K
Material:	42CrMo4 + QT
Hauptzeichnung Nr.:	Y033.60.3993K, Rev. -, vom 27.01.2021
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.15 Azimutgetriebe

4.3.15.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Bonfiglioli Trasmital
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	714 T4W
Produktcode:	JZ00002756 (Prototyp) JB00018601 (Serie)
Getriebeübersetzung:	1865
Hauptzeichnung Nr.:	I7140T017101, Rev. F, vom 19.07.2021 (Prototyp) I7140T016402, Rev. B, vom 24.08.2021 (Serie)
Schnittzeichnung Nr.:	A7140T011701, Rev. A, vom 24.03.2021 (Prototyp) A7140T011402, Rev. A, vom 24.08.2021 (Serie)
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	YZ00004307, Rev. D, vom 23.03.2021 (Prototyp) YP00021351, Rev. -, vom 03.05.2021 (Serie)
Motorbezeichnung:	Getriebebau NORD 132SP/4 BRE60 PT1000
Anzahl Antriebe:	10
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.15.2 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
 Typ: Vierstufiges Planetengetriebe
 Handelsbezeichnung: DAT 450/4405
 Produktcode: 13434316
 Getriebeübersetzung: 1857,69
 Hauptzeichnung Nr.: 13434316-99, Rev. 03.6, vom 21.01.2021
 Schnittzeichnung Nr.: 468 405 4000 00 0, Rev. 03.2, vom 28.04.2021
 Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 468 405 4000 10 0, Rev. 03.1, vom 28.06.2021
 Motorbezeichnung: Getriebebau NORD 132SP/4 BRE60 PT1000
 Anzahl Antriebe: 10
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.16 Hydrauliksystem

4.3.16.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: Lagerwey Wind BV
 Hydraulikschema Nr.: 20-022649, Rev. D, vom 31.03.2021
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.17 Leitschaukeln Generatorkühlung (optional)

4.3.17.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: Lagerwey Wind BV
 Material: Diverse, siehe Hauptzeichnung
 Hauptzeichnung Nr.: 20-032379, Rev. A, vom 18.02.2021
 Hinweis: Optionale Komponente (s. a. Kapitel 5.4)
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

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

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	DIBt Windzone	Geländekategorie	Prüfbericht Lasten
1	E-160 EP5 E3	5.56 MW	LM 78.3 P	166.66 m (E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]

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 Prüfung der Auslegung und Tragfähigkeit der maschinenbaulichen Komponenten erfolgte teilweise auf der Grundlage von Lastvergleichen. Zu diesem Zweck wurden die ursprünglich verwendeten Auslegungslasten mit den im Dokument [1.3.1] aufgeführten Extrem- und Betriebslasten verglichen. Äquivalente Momente und resultierende Beanspruchungen wurden unter Beachtung der geforderten Lebensdauer der Komponenten ermittelt.

Lastunterschiede zwischen Auslegungslasten und neuen Lasten wurden bewertet. Bei Lastüberschreitungen wurden die Spannungsreserven anhand der Typenprüfungsunterlagen neu berechnet.

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.

Vergleichsrechnungen für die Prüfung der statischen und betriebsfesten Auslegung der Wellen erfolgten in Anlehnung an DIN 743, unter Beachtung festigkeitsrelevanter Einflüsse, wie Kerbwirkungen.

Alle weiteren lastübertragenden mechanischen Komponenten wurden hinsichtlich ihrer statischen und betriebsfesten Auslegung auf der Grundlage der Zertifizierungsanforderungen und dem Stand der Technik geprüft.

5.3 Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen

Die Bewertung der haupttragenden Strukturen bezieht sich auf Auslegungsnachweise wie Rotornabe, Hauptlagerstruktur, Generatorstruktur sowie Maschinenträger 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 Anziehfaktor.

Die Festigkeit einiger hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurde 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.

Soweit redaktionelle und technische Abweichungen oder Fehler keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurde keine Korrektur der unter Punkt 1 geprüften Unterlagen gefordert.

Das Azimutsystem (Azimutlager, Azimutgetriebe, Azimutarretierung) wurde auf Grundlage der Lasten D02458028_2.2 (AUR) aus dem Lastbericht D02463290_3.0, geprüft mit der Gutachtlichen Stellungnahme [1.3.1], ausgelegt und geprüft. Für alle weiteren Komponenten wurden die Lasten D02455948_3.0 (BV) zugrunde gelegt.

Die zulässigen Zahnfuß- sowie Zahnflankenspannungen des Azimutgetriebes 4.3.15.2 wurden dem Prüfbericht [1.4.5] entnommen.

Die Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2 können optional mit Leitschaufeln für die Generatorkühlung (s. 4.3.17) ausgestattet werden.

5.5 Prüfergebnis

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei Extrem- und Betriebslasten vorhanden sind.

Die durchgeführten Lastvergleiche mit den geänderten Lastannahmen zeigen keine wesentliche Überschreitung der ursprünglichen Auslegungslasten. Für alle Komponenten konnten ausreichende Restsicherheiten ermittelt werden.

5.6 Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm

Schraubverbindung Blatt / Blattlager:	Geprüft
Spezifikation des Rotorblatts:	LM 78.3 P
Max./min. Vorspannkraft der Schrauben:	450 kN / 321 kN
Schraubverbindung Azimutlager / Turmkopfflansch:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung, siehe Gutachtliche Stellungnahme [1.4.6]
Turmkopfflansch:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung

6 Ausstehende Nachweise

6.1 keine

7 Bedingungen

- 7.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- 7.2 Die Wartungsbremse unter 4.3.12.1 dient nur zu Wartungszwecken und ist nicht als Rotorbremsen ausgelegt. Die Wartungsbremse kann ausschließlich manuell bedient werden und unterliegt keinen Automatismen. Das minimale Bremsmoment ist zu berücksichtigen.
- 7.3 Die Hinweise und Auflagen in den Prüfberichten [1.4.1] - [1.4.3] sind zu berücksichtigen.

8 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieses Gutachtens geprüften maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen erfüllen die Anforderungen der DIN EN IEC 61400-1:2019 in Bezug auf Tragfähigkeit und Auslegung für die zugrunde gelegten Annahmen, unter Beachtung der geforderten Lebensdauer von 20 bzw. 25 Jahren.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

Die unter Punkt 5.4 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 7 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Der Sachverständige:



M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:



Dr.-Ing. W. Aldenhoff

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. C. Burges
Eng. Mecânico F. Rodriguez
Dipl.-Ing. (FH) S. Jeličić

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON EP5

- Verkleidungen & Strukturen -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-12 D Rev. 0

Anlagenspezifikation Bezeichnung: E-160 EP5 E3

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Prüfumfang: Auslegungsanforderungen für Verkleidungen und
Strukturen gem. DIN EN IEC 61400-1:2019-12

Dieser Prüfbericht umfasst 8 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	26.11.2021	- Erstausgabe	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
1.3	Lastannahmen	3
1.4	Zugehörige Prüfberichte	4
2	Prüfgrundlagen	4
3	Einleitung	4
4	Beschreibung der Windenergieanlage	4
4.1	Anlagenkonzept	4
4.2	Umgebungsbedingungen	5
4.3	Geprüfte Verkleidungen und Strukturen	5
4.3.1	Gondelverkleidung	5
4.3.2	Gondelbühne	5
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	6
5	Durchgeführte Prüfungen.....	6
5.1	Prüfmethoden.....	6
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen	6
5.3	Hinweise und Annahmen	7
5.4	Prüfergebnis.....	7
6	Ausstehende Nachweise	7
7	Bedingungen.....	7
8	Schlussfolgerungen	8

Dieser Bericht wird ausschließlich dem oben genannten Antragsteller bzw. Kunden zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Berichts ist nur durch vorherige schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Antragstellers oder Kunden gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet.

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Gondelverkleidung

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3
Machine House Cover Statics
Dokument Nr.: D02451986, Rev. 0.0, vom 07.08.2021

Gondelbühne

- [1.1.2] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3
Gondelbühne Statik
Dokument Nr.: D02437829, Rev. 1.1, vom 12.08.2021

Anschlagpunkte

- [1.1.3] ENERCON GmbH:
Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3
Anchorage Points at Nacelle Ultimate Strength
Dokument Nr.: D02457731, Rev. 0.0, vom 20.08.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Gondelverkleidung

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Kundenspezifikation ENERCON für EN AW 5754 (H111)
Dokument Nr.: D0295946
Rev. 0, vom 07.07.2008

Anschlagpunkte

- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung
Dokument Nr.: D0448398
Rev. 1, vom 10.12.2016

1.3 Lastannahmen

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3
P, NH 166.66 m (E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S -
Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 0, vom 29.10.2021

1.4 Zugehörige Prüfberichte

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report - Wind Turbine Platform ENERCON EP5 - Design Basis -
Bericht Nr.: 8114242475-0 E I, Rev. 7, vom 03.11.2021

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 IEC 61400-1:2019-12
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019)
Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019
- [2.3] 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 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 [1.4.1] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Anlagentyp:	E-160 EP5 E3
Auslegungslbensdauer der Komponenten:	25 Jahre

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 Verkleidungen und Strukturen

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

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

4.3.1 Gondelverkleidung

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Aluminium- und Stahlstruktur
Material: S235JR, S355J2, AlMg3 (EN AW 5754, H111)
Hauptzeichnung Nr.: D02457863_1.0
MD5-Checksum: 3ab353ffbd429177b6f5ecce7dcd4918
Extremwindgeschw. v_{e50} : 54 m/s
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2 Gondelbühne

4.3.2.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Aluminium- und Stahlstruktur
Material: S235JR, S355J2, AlMg3 (EN AW 5754, H111)
Hauptzeichnung Nr.: D02457863_1.0
MD5-Checksum: 3ab353ffbd429177b6f5ecce7dcd4918
Extremwindgeschw. v_{e50} : 54 m/s
Verwendung: WEA Variante Nr. 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

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

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	DIBt Windzone	Gelände-kategorie	Prüfbericht Lasten
1	E-160 EP5 E3	5.56 MW	LM 78.3 P	166.66 m (E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]

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 einiger hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurde 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.

Die Tragfähigkeit der Maschinenhausverkleidung und Gondelbühne wurde auf der Grundlage der DNV GL-Richtlinie ST-0361 (Ausgabe September 2016) und GL-Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen (Ausgabe 2010), geprüft. Hierbei wurden die Einwirkungen auf die Struktur berücksichtigt. Des Weiteren umfasst die Prüfung alle festigkeitsrelevanten Anbauteile sowie die Anschlüsse und Verbindungen zu den Haupttragelementen.

Die Lastannahmen für die Strukturnachweise von Maschinenhausverkleidung und Gondelbühne wurden für ständige und veränderliche Einwirkung gemäß den geltenden Richtlinien überprüft. Die Materialeigenschaften für die verwendeten Aluminium- und Stahlwerkstoffe wurden dabei nach den gängigen Materialnormen und Spezifikationen berücksichtigt. Der Prüfumfang beinhaltet zudem alle relevanten Befestigungen zu den primären Strukturbauteilen sowie zu Anbauten und Anschlagpunkten.

5.3 Hinweise und Annahmen

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für maschinenbauliche Komponenten und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Soweit redaktionelle und technische Abweichungen oder Fehler keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurde keine Korrektur der unter Punkt 1 geprüften Unterlagen gefordert.

Die Anschlagpunkte wurden mit einer Last von 22,2 kN gem. [1.2.2] nachgewiesen.

Für die Begehung des Gondeldaches ist bevorzugt der Mittelsteg zu verwenden. In Ausnahmefällen und bei der Montage der Gondel dürfen die Seitenbereiche des Gondeldaches betreten werden.

5.4 Prüfergebnis

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei den aufgetragenen Einwirkungen vorhanden sind.

6 Ausstehende Nachweise

keine

7 Bedingungen

- 7.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- 7.2 Für jede Art von Hebezeugen und integrierten Kränen gelten die nationalen Anforderungen der jeweiligen Maschinenrichtlinie unter Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschrift (DGUV).
- 7.3 Es dürfen sich maximal zwei Personen gleichzeitig auf dem Gondeldach befinden.

8 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, unter Beachtung der geforderten Lebensdauer von 25 Jahren.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

Die unter Punkt 5.3 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 7 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Der Sachverständige:

A handwritten signature in blue ink, reading "R. Sommerfeld".

M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, reading "W. Aldenhoff".

Dr.-Ing. W. Aldenhoff

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

Dipl.-Ing. (FH) Ch. Panske

Gutachtliche Stellungnahme

für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3,

verschiedene Nabenhöhen und Windzonen

- Turmkopfflansch -

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

Gegenstand der Stellungnahme: Turmkopfflanschbaugruppe gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)

**Anlagenhersteller:
(Antragssteller)** ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese gutachtliche Stellungnahme wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Eine Veröffentlichung oder Verbreitung dieser gutachtlichen Stellungnahme ist nur nach vorheriger, schriftlicher Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist nicht gestattet.

Die Gutachtliche Stellungnahme umfasst 6 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Prüfer
0	01.10.2021	Erstausgabe	R. Diewald
1	29.11.2021	[2.1] korrigiert; editorische Korrekturen	R. Diewald

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen für E-160 EP5 E3

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
„Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange Statics und Fatigue Strength for Loads according to: IEC ed. 4, WC IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ S”,
Dokument Nr.: D02459007/0.1-en,
Rev. 0, Datum: 25.08.2021

Anlagen

- [1.1.2] ENERCON GmbH:
„Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30”,
Zeichnungs-Nr.: D02133917/0.1-de/en,
Rev. -, Datum: 05.02.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
„Machine Loads E-160 EP5 E3 Fatigue and ultimate loads for the Machine E-160 EP5 E3”,
Dokument Nr.: D02435821,
Rev. 0, Datum: 21.07.2021

Zeichnungen des Azimutlagers und Maschinenträgers

- [1.2.2] ENERCON GmbH:
„EP5-MC-01 Maschinenträger”,
Zeichnungs-Nr.: D02163255/0.0-de/en,
Rev. 0, Datum: 29.03.2021
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Azimutlager 2KD-m22-z168i-b210”,
Zeichnungs-Nr.: D02134927/0.0-de/en,
Rev. 0, Datum: 20.01.2021

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 1993-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-1/NA (08.2015):
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine 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: Ermüdung“
- [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 Dickenrichtung“
- [2.5] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen“

3 Einleitung

Gegenstand dieser Stellungnahme ist die Prüfung der Turmkopfflanschbaugruppe (Kopfflansch und Schrauben der Verbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager beziehungsweise Azimutlager und Maschinenträger) hinsichtlich struktureller Integrität im Sinne von [2.1] für die in [1.2.1] aufgeführten Lastkonfigurationen.

4 Beschreibung

4.1 Turmkopfflansch

Der Turmkopfflansch ist ein innenliegender L-Flansch mit einem Innendurchmesser von 3966 mm an der anschließenden Turmwand. Die Gesamthöhe beträgt 225 mm. Der Flansch wird mit dem in [1.2.3] gezeigtem Azimutlager mittels 150 Schrauben M30 verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger [1.2.2] wird durch 178 Schrauben M30 hergestellt.

Der Turmkopfflansch soll für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 verwendet werden.

4.2 Lastannahmen

Konfigurationen

Die Turmkopfflanschbaugruppe wurde für die in [1.2.1] aufgeführten Lastannahmen nachgewiesen, siehe [1.1.1]. Die Ermüdungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

4.3 Baustoffe

Kopfflansch:	Stahl DIN EN 10025-3-S355N (nahtlos geschmiedet) $R_{eH} = 265 \text{ MPa}$
Maschinenträger:	Stahlguss EN-GJS-400-18-LT+EN-JS1025+EN1562
Azimutlager:	Stahl 42CrMo4+QT

Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager

Schrauben:	DIN 976-1 – M30 – 10.9 tZn nominelle Vorspannkraft $F_{V,nom} = 432,3 \text{ kN}$ (Drehmomentverfahren) Anziehfaktor $\alpha_A = 1,5$
Scheiben:	ISO 7089 - A30 - 300 HV tZn
Muttern:	ISO 4032 - M30 - 10 tZn

Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

Schrauben:	DIN 976-1 - M30 - 10.9 tZn nominelle Vorspannkraft $F_{V,nom} = 512,5 \text{ kN}$ (Drehwinkelverfahren) Anziehfaktor $\alpha_A = 1,0$
Scheiben:	ISO 7089 - A36 - 300 HV tZn
Muttern:	ISO 4032 - M30 - 10 tZn

5 Prüfung

5.1 Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustand der Tragfähigkeit) wurden in der eingereichten statischen Berechnung für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Der Flansch und die Schrauben zweier Verbindungen – Flansch mit Azimutlager und Azimutlager mit Maschinenträger – werden als eine Baugruppe betrachtet und sind Gegenstand dieser gutachtlichen Stellungnahme.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

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

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweiß- und Schraubverbindung mit $\gamma_{Mf} = 1,25$ angesetzt.

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden von ENERCON GmbH in [1.1.1] FE-Berechnungen durchgeführt. Der zugrunde liegende Aufbau des Turmkopfes kann [1.1.2], [1.2.2] und [1.2.3] entnommen werden. Für die Vergleichsrechnung wurde eine minimale Schraubenvorspannkraft $F_{v,min} = 288,2$ kN für die Verbindung von Turmkopf und Azimutlager sowie $F_{v,min} = 307,5$ kN für die Verbindung des Lagers mit dem Maschinenträger angesetzt.

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

keine

6 Auflagen

- 6.1 Das für den Kopfflansch verwendete Material muss mindestens eine Streckgrenze $R_{eH} = 265$ MPa aufweisen.
- 6.2 Die Auslegungslasten des Turms müssen kleiner oder gleich den Lastannahmen in [1.2.1] sein.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Schnittstellen und Auflagen erfüllt die geprüfte Turmkopfflanschbaugruppe die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

Diese gutachtliche Stellungnahme verliert ihre Gültigkeit mit konstruktiven Änderungen der Turmflanschbaugruppe sowie des Maschinenträgers und des Azimutlagers.

Prüfer:



M.Sc. / SFI R. Diewald

Freigegeben:



Dr.-Ing. C. Fischer