

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. 4

**1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 4 vom
05.12.2023****2. Hybridturm 3443492-1-d Rev.3 vom 16.11.2023**

- | | |
|--|--------------------|
| 2.1. Übersichtsplan Gesamtturm | D02405551-6 |
| 2.2. Übersichtsplan Stahlturm | D02405556-3 |

**3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 4 vom
16.11.2023**

- | | |
|---|--------------------|
| 3.1. Fundamentdatenblatt | D02397376-4 |
| 3.2. Schalplan Variante R0 | D02405554-5 |
| 3.3. Bewehrungsplan Variante R0 | D02405555-4 |
| 3.4. Schalplan Variante R1 | D02405554-6 |
| 3.5. Bewehrungsplan Variante R1 | D02405555-7 |

**4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443792-5-d Rev. 2 vom
12.10.2023**

- | | |
|------------------------------------|--------------------|
| 4.1. Fundamentdatenblatt | D02567170-0 |
| 4.2. Schalplan | D02456047-4 |
| 4.3. Bewehrungsplan 1 | D02456040-3 |
| 4.4. Bewehrungsplan 2 | D02456043-3 |
| 4.5. Bewehrungsplan 3 | D02456046-3 |

**5. Gutachterliche Stellungnahmen Variante R0 8119 616 205 D
Rev. 1 vom 07.02.2023**

- | | |
|---|--|
| 5.1. Lastannahmen für Turm und Fundament | 8119201822-1 D I Rev. 2 vom 19.12.2022 |
| 5.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau | 8119201822-1 D IV Rev. 2 vom 19.12.2022 |
| 5.3. Sicherheitssystem und Handbücher | 8119201822-2 D Rev. 1 vom 11.10.2022 |

5.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz	8114242475-5 D Rev. 9 vom 18.01.2023
5.5. Rotorblatt	8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023
5.6. Maschinenbauliche Komponenten	8119201822-4 D Rev. 3 vom 02.02.2023
5.7. Verkleidung und Strukturen	8119201822-12 D Rev. 3 vom 02.02.2023
5.8. Turmkopfflansch	8119616205-11 D Rev. 1 vom 29.11.2021
6. Gutachterliche Stellungnahmen Variante R1	8121951519-100-001 Rev. 0 vom 27.11.2023
6.1. Lastannahmen für Turm und Fundament	8120863590-1 D V Rev. 0 vom 09.11.2023
6.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau	8120863590-1 D IV Rev. 0 vom 09.11.2023
6.3. Sicherheitssystem und Handbücher	8119201822-2 D Rev. 3 vom 11.09.2023
6.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz	8120863590-005-002 Rev. 0 vom 04.10.2023
6.5. Rotorblatt	8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023
6.6. Maschinenbauliche Komponenten	8119201822-004-001 Rev. 4 vom 27.11.2023
6.7. Verkleidung und Strukturen	8119201822-012-001 Rev. 4 vom 27.11.2023
6.8. Turmkopfflansch	8121329336-11 D Rev. 0 vom 22.06.2023

7. 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	Dokument erstellt 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

15.02.2023 Rev 2	<p>Dokument erstellt</p> <p>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 2 vom 08.02.2023 2. Hybridturm 3443492-1-d Rev. 1 vom 07.02.2023</p> <p>3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 2 vom 07.02.2023</p> <p>4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 1 vom 07.02.2023</p> <p>4.3. Bewehrungsplan 1 D02456040-2</p> <p>4.4. Bewehrungsplan 2 D02456043-2</p> <p>4.5. Bewehrungsplan 3 D02456046-2</p> <p>5. Gutachterliche Stellungnahmen 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023</p> <p>5.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8119201822-1 D I Rev. 2 vom 19.12.2022</p> <p>5.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 1 vom 11.10.2022</p> <p>5.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8114242475-5 D Rev. 9 vom 18.01.2023 5.5. Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023</p> <p>5.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-4 D Rev. 3 vom 02.02.2023</p> <p>5.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-12 D Rev. 3 vom 02.02.2023</p>
06.12.2023 Rev 3	<p>Dokument erstellt</p> <p>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. vom 12.10.2023</p> <p>2. Hybridturm 3443492-1-d Rev. 2 vom 19.09.2023</p> <p>2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02405551-6</p> <p>2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02405556-3</p> <p>3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 3 vom 12.10.2023</p> <p>3.1 Fundamentdatenblatt D02397376-4</p> <p>3.2. Schalplan D02405554-5</p> <p>3.3. Bewehrungsplan D02405555-4</p> <p>4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 2 vom 12.10.2023</p> <p>4.1 Fundamentdatenblatt D02567170-0</p> <p>4.2 Schalplan D02456047-4</p> <p>4.3. Bewehrungsplan 1 D02456040-3</p> <p>4.4. Bewehrungsplan 2 D02456043-3</p> <p>4.5 Bewehrungsplan 3 D02456046-3</p> <p>5. Gutachterliche Stellungnahmen 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023</p> <p>5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament 8119201822-1 D I Rev. 2 vom 19.12.2022 5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8119201822-1 D IV Rev. 2 vom 19.12.2023 5.3 Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 1 vom 11.10.2022</p> <p>5.4 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8114242475-5 D Rev. 9 vom 18.01.2023 5.5 Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023</p> <p>5.6 Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-4 D Rev. 3 vom 02.02.2023</p> <p>5.7 Verkleidung und Strukturen 8119201822-12 D Rev. 3 vom 02.02.2023</p> <p>5.8 Turmkopfflansch 8119616205-11 D Rev. 1 vom 29.11.2021</p>

13.12.2023 Rev 4	1 Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 4 vom 05.12.2023
	2 Hybridturm 3443492-1-d Rev.3 vom 16.11.2023
	2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02405551-6
	2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02405556-3
	3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 4 vom 16.11.2023
	3.1. Fundamentdatenblatt D02397376-4
	3.2. Schalplan Variante R0 D02405554-5
	3.3. Bewehrungsplan Variante R0 D02405555-4
	3.4. Schalplan Variante R1 D02405554-6
	3.5. Bewehrungsplan Variante R1 D02405555-7
	4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443792-5-d Rev. 2 vom 12.10.2023
	4.1. Fundamentdatenblatt D02567170-0
	4.2. Schalplan D02456047-4
	4.3. Bewehrungsplan 1 D02456040-3
	4.4. Bewehrungsplan 2 D02456043-3
	4.5. Bewehrungsplan 3 D02456046-3
	5. Gutachterliche Stellungnahmen Variante R0 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023
	5.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8119201822-1 D I Rev. 2 vom 19.12.2022
	5.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8119201822-1 D IV Rev. 2 vom 19.12.2022
	5.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 1 vom 11.10.2022
	5.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8114242475-5 D Rev. 9 vom 18.01.2023
	5.5. Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023
	5.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-4 D Rev. 3 vom 02.02.2023
	5.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-12 D Rev. 3 vom 02.02.2023
	5.8. Turmkopfflansch 8119616205-11 D Rev. 1 vom 29.11.2021
	6. Gutachterliche Stellungnahmen Variante R1 8121951519-100-001 Rev. 0 vom 27.11.2023
	6.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8120863590-1 D V Rev. 0 vom 09.11.2023
	6.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8120863590-1 D IV Rev. 0 vom 09.11.2023
	6.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 3 vom 11.09.2023
	6.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8120863590-005-002 Rev. 0 vom 04.10.2023
	6.5. Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023
	6.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-004-001 Rev. 4 vom 27.11.2023
	6.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-012-001 Rev. 4 vom 27.11.2023
	6.8. Turmkopfflansch 8121329336-11 D Rev. 0 vom 22.06.2023



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 05.12.2023

Prüfnummer: 3443492-3-d Rev. 4

Objekt: Turm und Fundamente – Hybridturm
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01
Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3
Varianten R0 und R1
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/CRE

Dokument:
3443492-3-d_Rev.
4_ENERCON_E-160 EP5 E3-
HT-166-ES-C-01_TPB

Das Dokument besteht aus
8 Seiten.
Seite 1 von 8

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

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	15.12.2021	Erstfassung
1	26.01.2022	Aufnahme Tiefgründung [3].
2	08.02.2023	Dokumente [1] bis [5] aktualisiert. Aktualisierung der Anlagenparameter in Tabelle 1.
3	12.10.2023	Dokumente [1] bis [3] aktualisiert.
4	05.12.2023	Dokumente [1] und [2] aktualisiert. Neue Dokumente [5] und [6]. Aufnahme Variante R1

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeine Bestimmungen.....	3
2.	Anlagenbeschreibung	3
3.	Prüfgrundlage	4
4.	Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung.....	5
5.	Gutachtliche Stellungnahmen.....	5
6.	Zusammenfassung.....	6
	Anlage 1:.....	8



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:

	Variante R0	Variante R1
Nennleistung	5,56 MW	
Windzone	S	
Geländekategorie	S	
Erdbebenzone nach DIN 4149	0	
Nabenhöhe	166,7 m	
Rotorblatttyp	LM 78.3 P Gen. B und Gen. C	
Rotordrehzahlbereich (Produktionsbetrieb)	4,4 - 10,98 U/min	4,4 – 11,04 U/min
Rotornenndrehzahl	9,6 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

Tabelle 1

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

	Variante R0	Variante R1
Nabenhöhe	166,7 m	
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]	
Fundamente	Flachgründung [2]	
	Tiefgründung [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.

- [1] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21), Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3, Varianten R0 und R1, 166 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 3, Datum 2023-11-16
- [2] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung, Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 R0 (Bögl E21), Varianten R0 und R1, Fundament: Fg Ø = 24,00 m, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten, Dokument Nr. 3443492-20, Rev. 4, Datum 2023-11-16
- [3] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Tiefgründung, Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 R0 (Bögl E21), Fundament: Tg 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“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 9 Seiten, Dokument Nr. 3443492-5-d, Rev. 2, Datum 2023-10-12

In Prüfbericht [3] wird auf Revision 2 des Turmprüfberichtes [1] verwiesen. Die Änderungen in Revision 3 von [1] haben keine Auswirkung auf die Gültigkeit des Prüfberichtes [3]. Somit ist der Prüfbericht [3] auch in Kombination mit der hier zitierten Revision 3 von [1] gültig.

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

5.1. Variante R0

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, Dokument Nr. 8119201822-1 D I, Rev. 2, Datum 2022-12-19

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, Dokument Nr. 8119 616 205 D, Rev. 1, Datum 2023-02-07

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.

5.2. Variante R1

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [6] „Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8120863590-1 D V, Rev. 0, Datum 2023-11-09

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

- [7] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 R1“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8121951519-100-001-00, Rev. 0, Datum 2023-11-27

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I vollständig bis auf die Erweiterung der Gutachtlichen Stellungnahme des Rotorblattes. 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. Aus der fehlenden gutachtlichen Stellungnahme zum Rotorblatt ergibt sich kein Einfluss auf die Gültigkeit der Nachweise von Turm und Fundament, sofern die Gültigkeit des Lastgutachtens [6] davon nicht berührt wird.

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.



Industrie Service

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.

7. Auflagen

1. Bis zur Inbetriebnahme der ersten Anlage der R1-Variante muss die finale gutachtliche Stellungnahme des Rotorblattes mit Erweiterung um die Anlagenkonfiguration E-160 EP5 E3 R1 vorgelegt werden.

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

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

Der Bearbeiter

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

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

Anlage 1:

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

[1]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 25
[2]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 10
[3]	Kapitel 6, Auflagen 1 bis 13
[4]	Kapitel 5.4, Schnittstellen, 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.
[6]	Kapitel 5.4, Schnittstellen
[7]	Alle in den in [7] 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: 16.11.2023

Prüfnummer: 3443492-1-d Rev. 3

Objekt: Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)
Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3
Varianten R0 und R1
166 m Nabenhöhe
Windzone S

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

Auftraggeber: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Gültig bis: 12.10.2026

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:
3443492-1-d Rev.
3_ENERCON_E-160 EP5 E3-
HT-166-ES-C-01

Das Dokument besteht aus
15 Seiten.
Seite 1 von 15

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	07.02.2023	Lastvergleich [8] für neue Lasten aus Dokument [11] ergänzt. Neue Revision Dokument [3]. Die Dokumente [1] und [2] sowie [4] bis [7] bleiben weiterhin gültig.
2	19.09.2023	Dokument [24] aktualisiert. Dokument [26] ergänzt. Zeichnungen [A1] bis [A6] und [A9] aktualisiert.
3	16.11.2023	Variante R1 ergänzt. Dokumente [9], [14] und [15] hinzugefügt. Dokumente [1] und [5] aktualisiert.

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	5
3.	Beschreibung	7
3.1.	Maße:.....	7
3.2.	Baustoffe:.....	7
3.3.	Lastannahmen:	8
4.	Prüfumfang	8
5.	Prüfbemerkungen.....	9
6.	Prüfergebnis.....	11
	Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne	15



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",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. f, Datum 2023-11-07
ENERCON Dokument Nr. D02405544-6
- [2] "Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm E21",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, Datum 2021-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405547-0
- [3] "Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm E21",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2023-01-18
ENERCON Dokument Nr. D02405545-2
- [4] "Spannanweisung der Ankerstäbe Max Bögl Hybridturm E21",
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, Datum 2021-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405548-0
- [5] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E21“,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2023-10-13
ENERCON Dokument Nr. D02405546-1
- [6] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Stahlturm“,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, Datum 2021-09-09
ENERCON Dokument Nr. D02405550-1
- [7] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1
- [8] „Lastvergleich / Überprüfung der Turm- und Fundamentstatik aufgrund neuer Lasten „2022-09-14 Lasten R0 GenB-9,6“ für den Max Bögl Hybridturm Turmtyp E21“,
Dokument Nr. D00319105, Rev. 03, Datum 2023-01-18
ENERCON Dokument Nr. D02456069-3
- [9] „Lastvergleich / Überprüfung der Turm- und Fundamentstatik aufgrund neuer Lasten „2022-11-29 Lasten R1“ für den Max Bögl Hybridturm Turmtyp E21“,
Dokument Nr. D00343748, Rev. 0, Datum 2022-12-19
ENERCON Dokument Nr. D02456070-0

1.2. Eingesehene Unterlagen

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

Lasten:

- [10] "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,
Dokument Nr. D02406103-4.0, Rev. 4, Datum 2021-10-01
- [11] "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,
Dokument Nr. 8119201822-1 DI, Rev. 1, Datum 2021-10-05



- [12] "Load report Tower E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01, Envelope of 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", erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02406103-6.0, Rev. 6, Datum 2022-12-01
- [13] "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, Dokument Nr. 8119201822-1 D I, Rev. 2, Datum 2022-12-19
- [14] "Load report E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01/HT-160-ESC-01 Envelope of fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01/HT-160-ES-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade LM78.3P_2P as per DIBt and IEC ed. 4", erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02772407-1.5, Rev. 1.5, Datum 2023-07-20
- [15] "Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8120863590-1 D V, Rev. 0, Datum 2023-11-09

Betonturm:

- [16] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [17] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. h, Datum 2021-02-02
- [18] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 1, Datum 2020-07-02
- [19] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 16.04.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [20] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [21] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [22] 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, Dokument Nr. ETA-07/0186, vom 16.11.2020
- [23] 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, Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020



Industrie Service

- [24] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 15.02.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [25] 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, Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 01.06.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [26] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Dokument Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [27] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118409048-6 D, Rev. 2, vom 2022-03-22
- [28] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15
- [29] Gutachten „Modell für die Ermüdungsbemessung hochfester Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, keine Dokument Nr., vom 08.10.2020

Stahlurm:

- [30] Zeichnung „Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“, erstellt von ENERCON GmbH, Zeichnung Nr. D02133917/0.1-de/en, Revision -, Datum 2021-02-05
- [31] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [32] „Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Stahlrohrturm Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 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 Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24] C90/105 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24] C80/95 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24] Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [24] eingesetzt
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [25]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [19] und [20] in Verbindung mit [22] bzw. [21] in Verbindung mit [23]

Schrauben in vertikaler Fuge M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014



Industrie Service

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 [10] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [11] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Grundlage der Berechnung war Rev. 0 von [10]. In [11] 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 [10] gültig.

In Dokument [8] wurde über Lastvergleich gezeigt, dass die Lasten aus Dokument [10] die Lasten für die Variante R0 aus Dokument [12] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [8] durch weitere Berechnungen bewertet. Dokument [12] wurde mit der gutachtlichen Stellungnahme [13] bestätigt.

In Dokument [9] wurde über Lastvergleich gezeigt, dass die Lasten aus Dokument [12] die Lasten für die Variante R1 aus Dokument [14] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [9] durch weitere Berechnungen bewertet. Dokument [14] wurde mit der gutachtlichen Stellungnahme [15] bestätigt.

Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt gemäß [11], [13] und [15] 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 Hybridturms 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 [30] 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 [26] geführt und mit [27] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [26] für den vorliegenden Turm gültig sind.

Für die Bemessung eines Fundaments sind die Angaben in [3] zu Grunde zu legen.

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

Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [11] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,168 Hz bis 0,197 Hz). Auch der in Lastgutachten [13] und [15] angegebene Gültigkeitsbereich (0,165 Hz bis 0,192 Hz) ist eingehalten. Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\phi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$ 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 [10], [12] und [14] 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 [16] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [16] 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	183 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 [31] und [32] 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.

Stahlsortenauswahl:

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

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.



Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für hochfeste Betone gemäß [24] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [25] angesetzt.

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:

Es werden die Anlagenvariante R0 mit den Lasten gemäß [12] sowie die Anlagenvariante R1 mit den Lasten gemäß [14] über diesen Prüfbericht zur Typenprüfung abgedeckt. Für beide Anlagenvarianten sind die gleichen Ausführungspläne gemäß [7] gültig.

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 [22] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [20] oder alternativ nach ETA [23] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [21] angewandt werden. Beide Systeme sind technisch gleichwertig. Die Anwendungszulassungen für das Spannsystem gelten jeweils in Verbindung mit der allgemeinen Bauartgenehmigung [19].

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.

Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichtes:

Der Lastvergleich [9] für die Variante R1 wurde aufgenommen.

In Dokument [5] wurde der Zeitraum für den vollständig errichteten Turm mit Gondel und ohne Rotor gemäß den Angaben in Abschnitt 5 verlängert.

In der neuen Revision der Turmstatik [1] wurde der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für Fertigteilelemente mit einem Versprödungsfaktor von 0,9 gemäß abZ [24] angesetzt. Auflage 18 aus der vorherigen Revision dieses Prüfberichts entfällt.

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 [10], [12] und [14] geeignet.

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

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [10], [12] und [14] 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 in [10], [12] und [14] 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. Besteige-einrichtungen) 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 [19] bis [23] sowie für die Hochfestbetone [24] und geschweißten Bewehrungselemente [25] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
17. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version aller zitierten Zulassungen [19] bis [25] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
18. Die erforderliche Mindestfestigkeit des Vergussmörtels von $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ zum Zeitpunkt des Vorspannens des Betonturms ist fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
19. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [2] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
20. 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.
21. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung muss der Adapter mindestens 40 Tage alt sein.
22. Der rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons im Adapter zwischen 45.000 N/mm^2 und 53.000 N/mm^2 ist sicherzustellen.

Prüfintervalle

23. 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.
24. 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. Reuter'.

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



Industrie Service

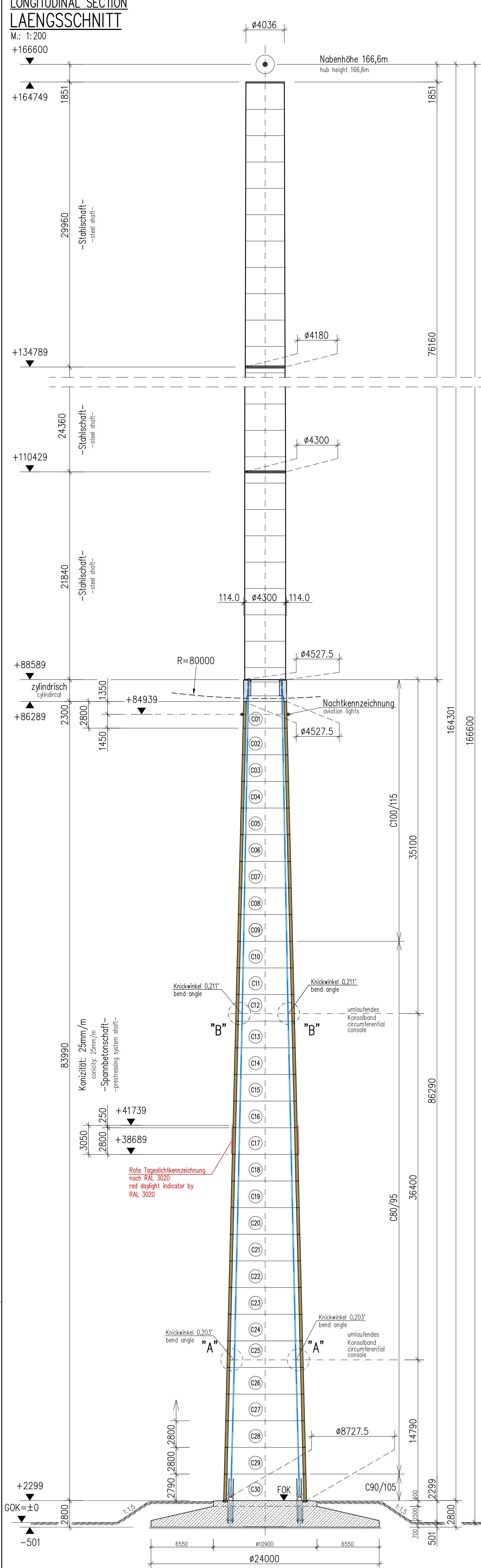
Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E21-001-XX-X-Uebersicht	D02405551-6	f	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 166,6 m, Spannglieds. „SUSPA“	2023-05-24
[A2]	DE-E21-095-XX-X-Schalplan	D02405558-1	a	Schalplan Rohteile C-Ringe	2023-01-12
[A3]	DE-E21-096-XX-X-Bewehrung	D02405559-3	c	Bewehrungsplan Rohteile C-Ringe (3-teilig)	2023-01-12
[A4]	DE-E21-AE1-K1-X-Bewehrung	D02405560-3	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-07-18
[A5]	DE-E21-AE1-K1-X-Schalplan	D02405561-3	c	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-05-25
[A6]	DE-E21-M008 Montageplan	D02405562-1	a	Fugendetailplan	2023-01-13
[A7]	XX-XXX-M56-HV-1-Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0150831	2021-01-25
[A8]	XX-XXX-M56-HV-2-Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0150831	2021-01-25

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A9]	DE-E21-022-XX-X-Uebersicht	D02405556-3	c	Übersichtsplan Stahlturm 166m NH	2023-01-12

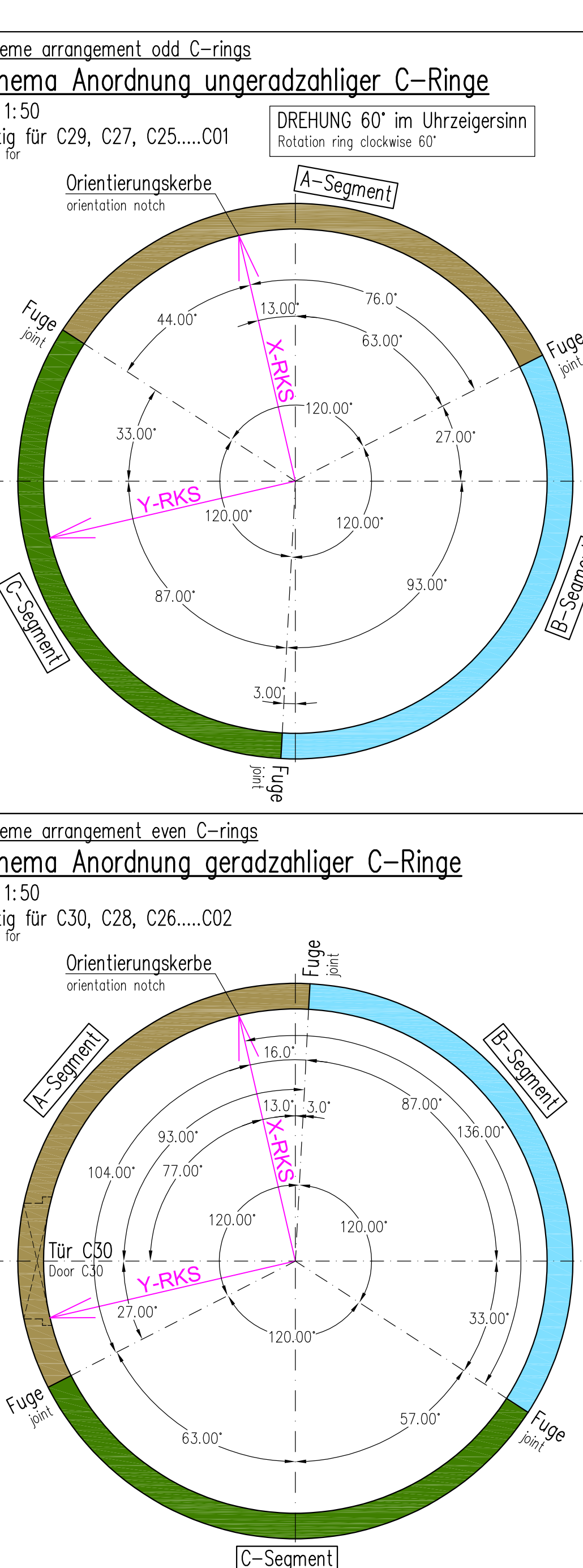
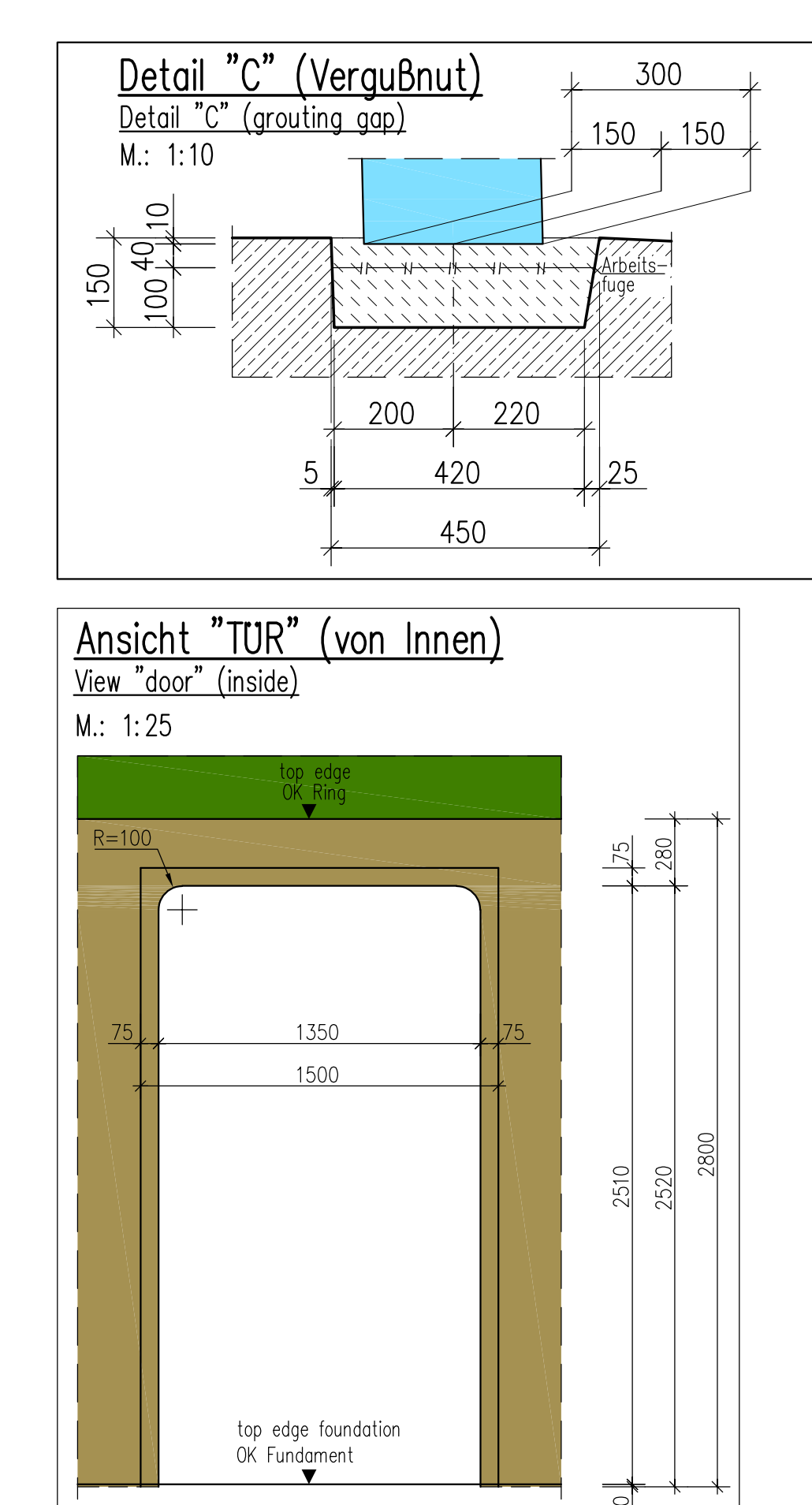
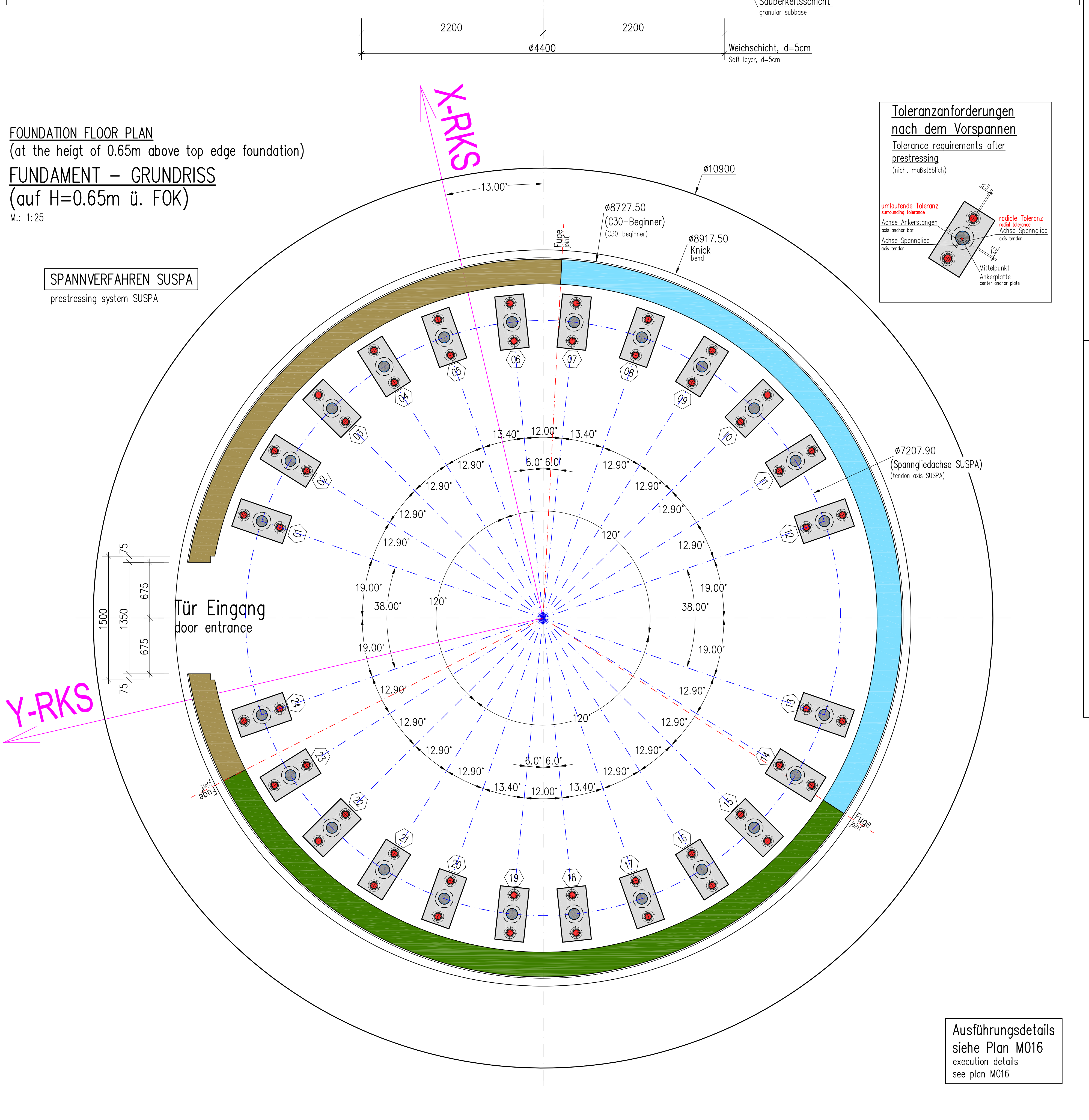
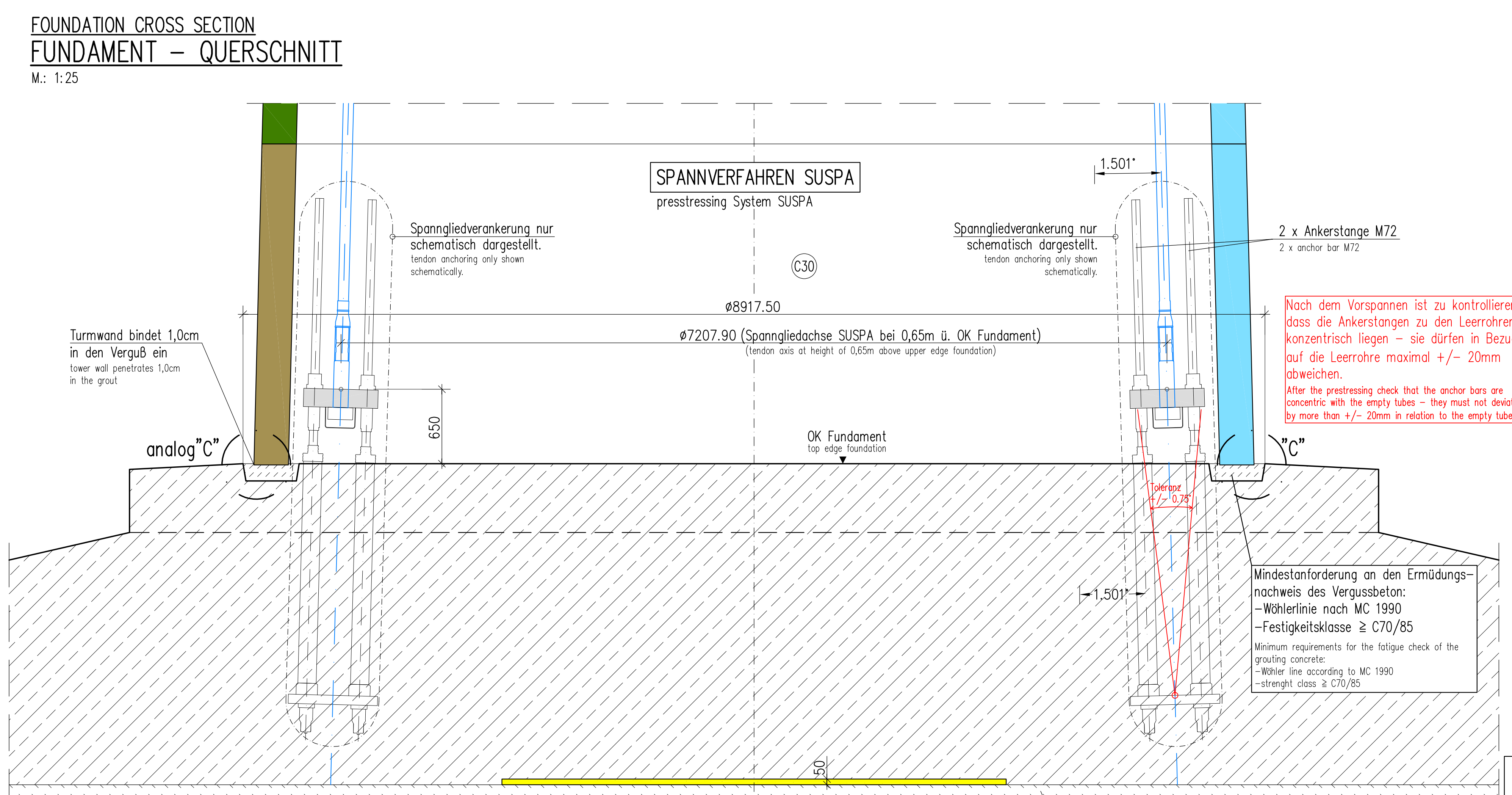
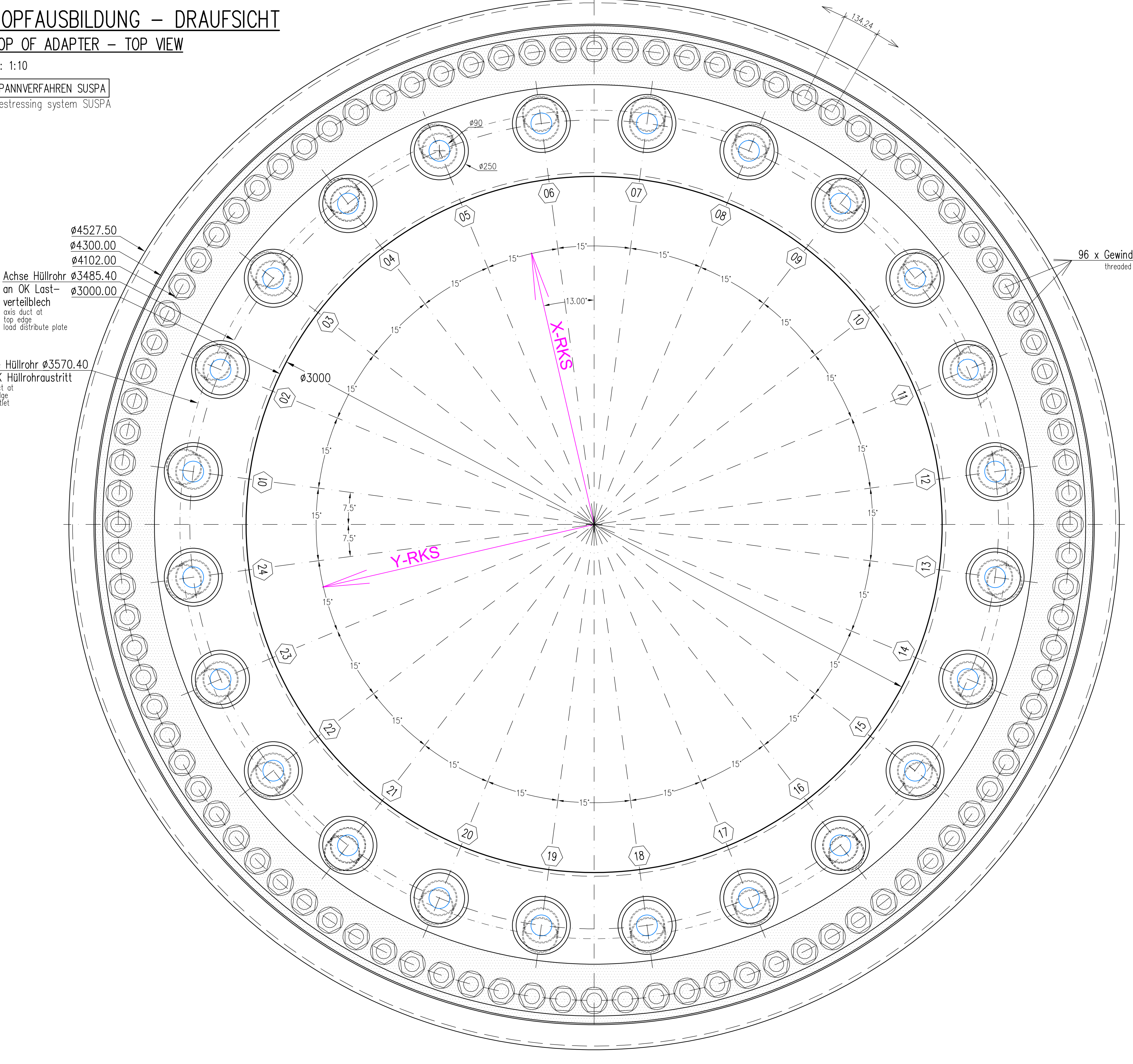
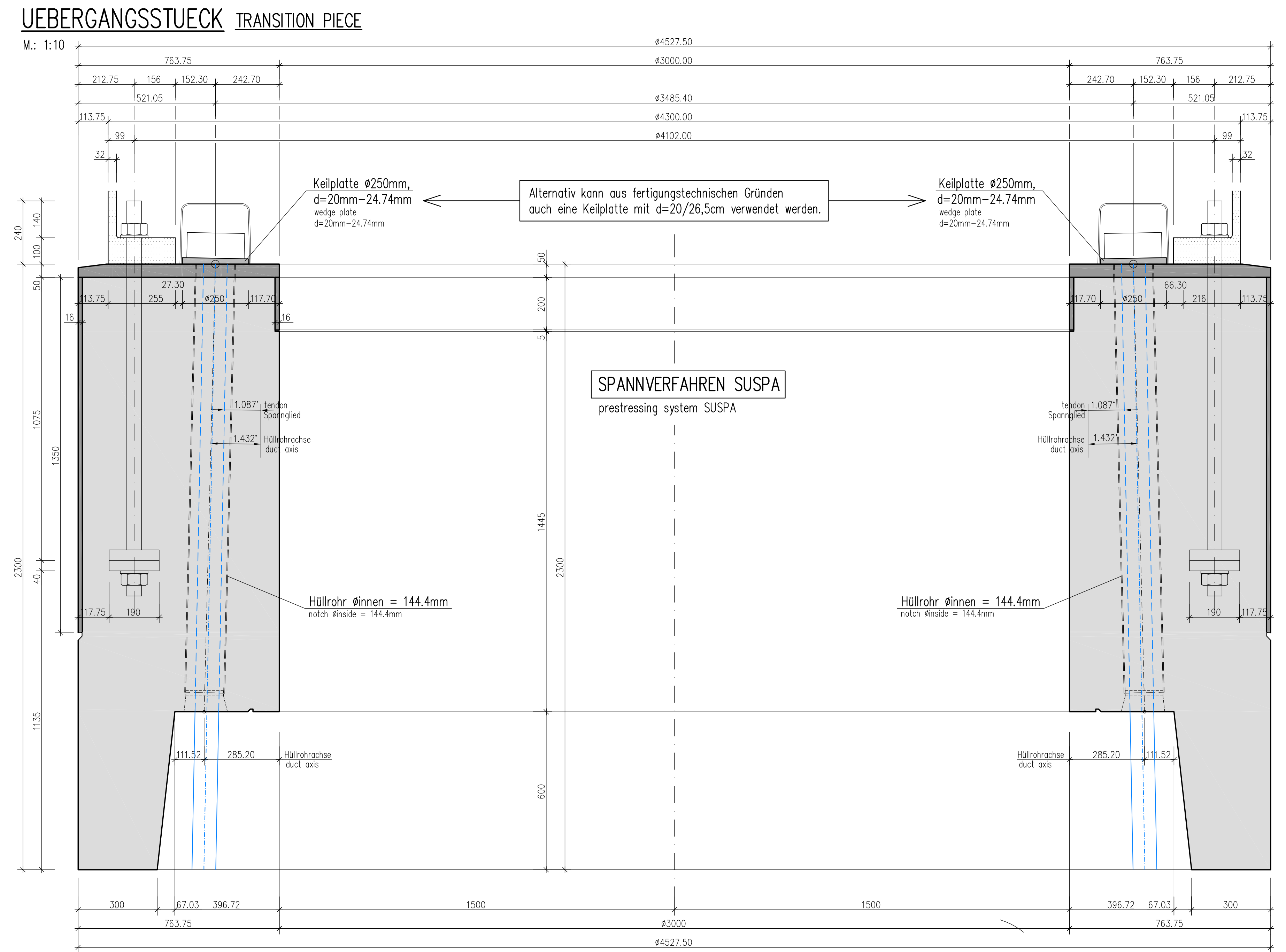


Spannverfahren/Prestressing system

Anwendungsbereich: range of application	SUSPA	EC
Spannverfahren: Prestressing system	SUSPA-Draht EX	SUSPA-Draht EX
Zulassung: Approval	SUSPA 2-13.13-200810 2-13.13-200818 2-13.13-141	ETB-07/086 ETB-20/0810
Spanngliedbezeichnung: tendon designation	SUSPA EX-B4	SUSPA EX-B4
Spannstahl: Prestressing steel	SUSPA SI 1570/1770	Y 1770C
Max. Vorspannkraft: max. prestressing force	SUSPA F _{max} 4123 kN	F _{max} 4123 kN

DETAIL "B"
M.: 1:25

DETAIL "A"
M.: 1:25



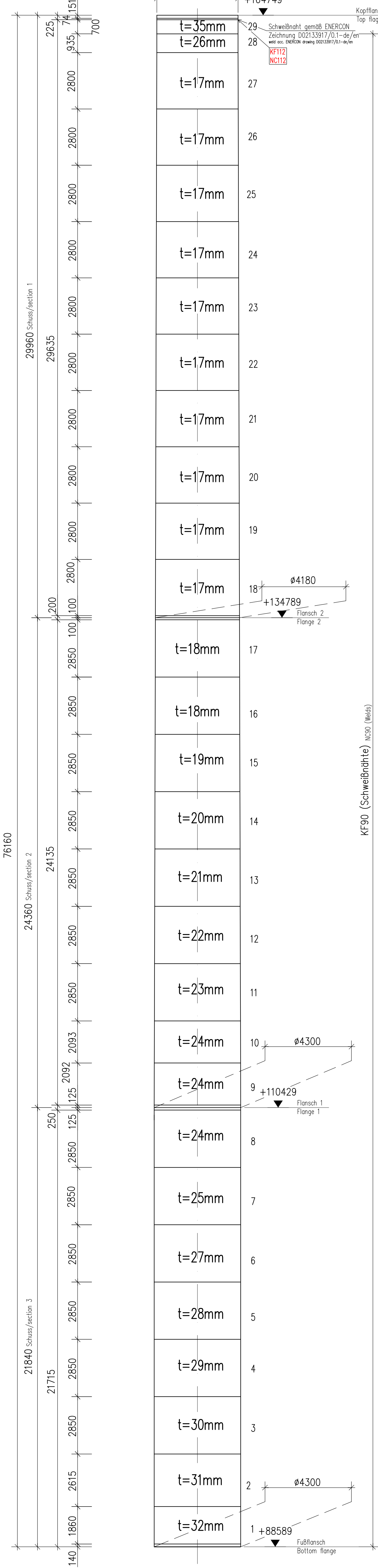
ENERCON Windenergieanlage
E-160 EPS E3-HT-166-ES-C-01
DIB 2012 WZ 5 / IEC WZ IIA, IIB

ENERCON wind turbine generator
E-160 EPS E3-HT-166-ES-C-01
DIB 2012 WZ 5 / IEC WZ IIA, IIB

1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf
1. Aufl. Entwurf	2. Aufl. Entwurf	3. Aufl. Entwurf	4. Aufl. Entwurf	5. Aufl. Entwurf	6. Aufl. Entwurf	7. Aufl. Entwurf	8. Aufl. Entwurf	9. Aufl. Entwurf	10. Aufl. Entwurf

Längsschnitt

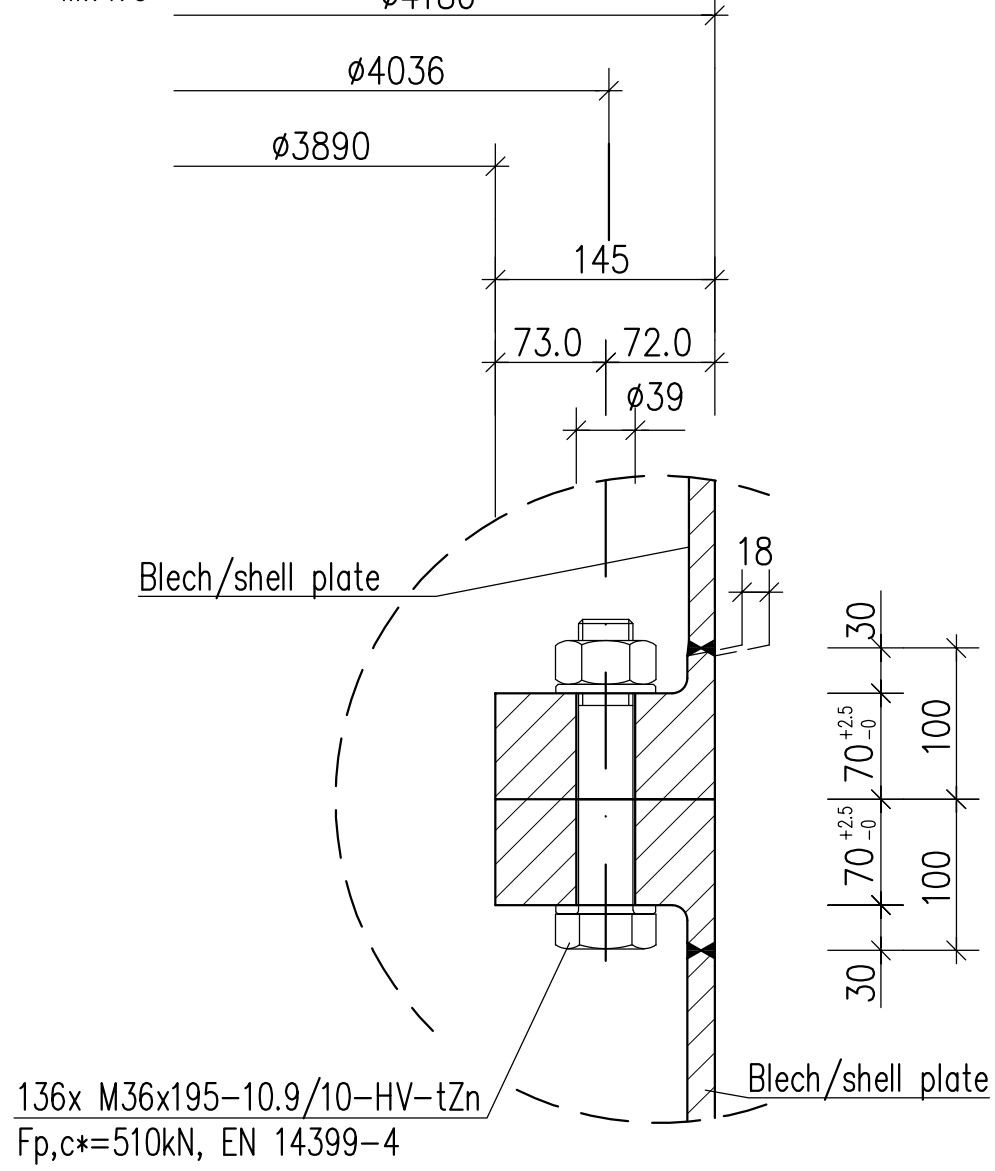
M.: 1:100



Abmessungen des Kopfflanschs gemäß ENERCON
Zeichnung D02133917/0.1-de/en
Dimensions of top flange according to ENERCON
drawing D02133917/0.1-de/en.

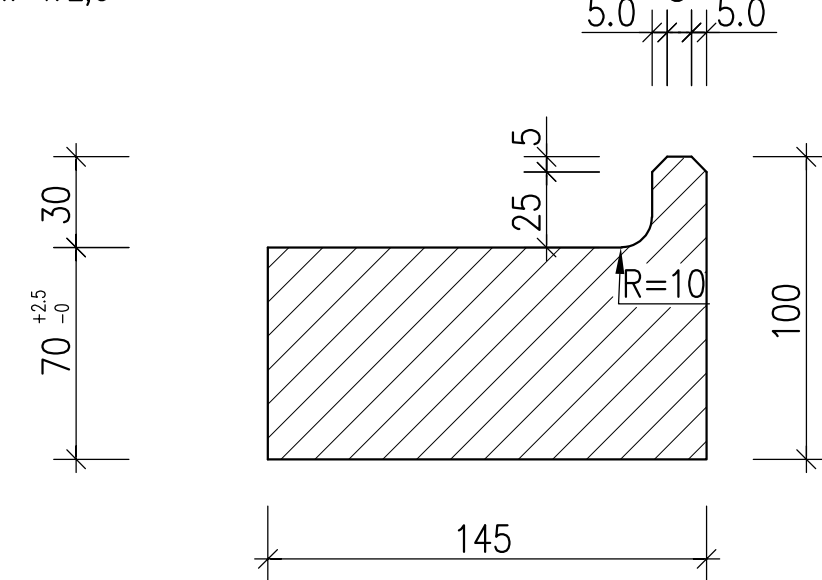
Flansch 2/Flange 2

M.: 1:5



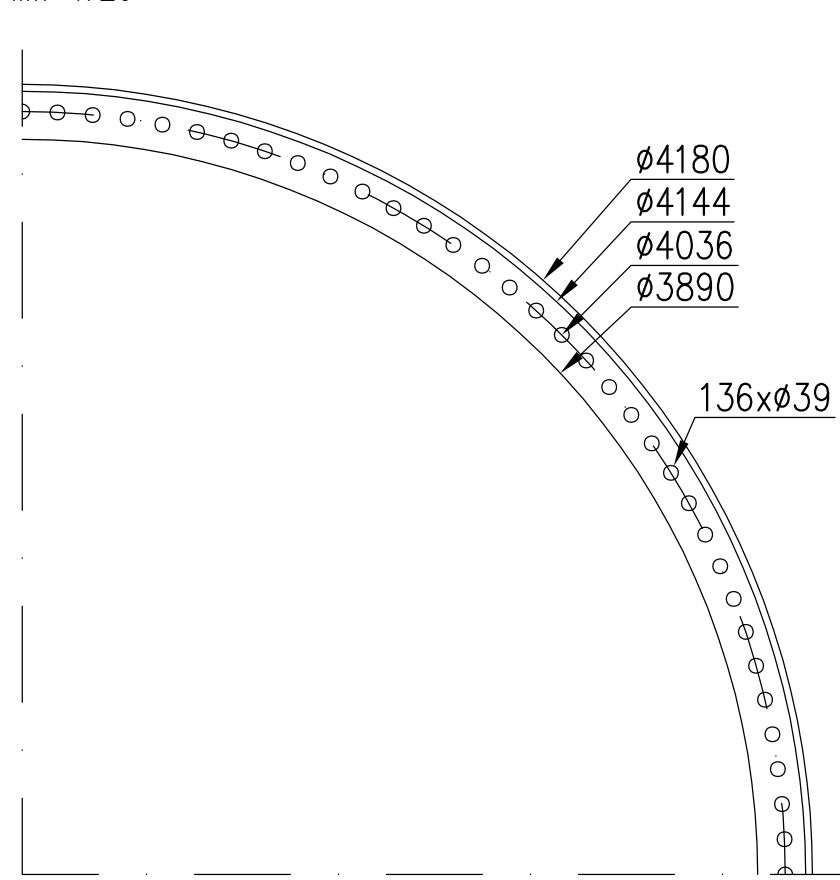
Detail Flansch 2

M.: 1:2,5



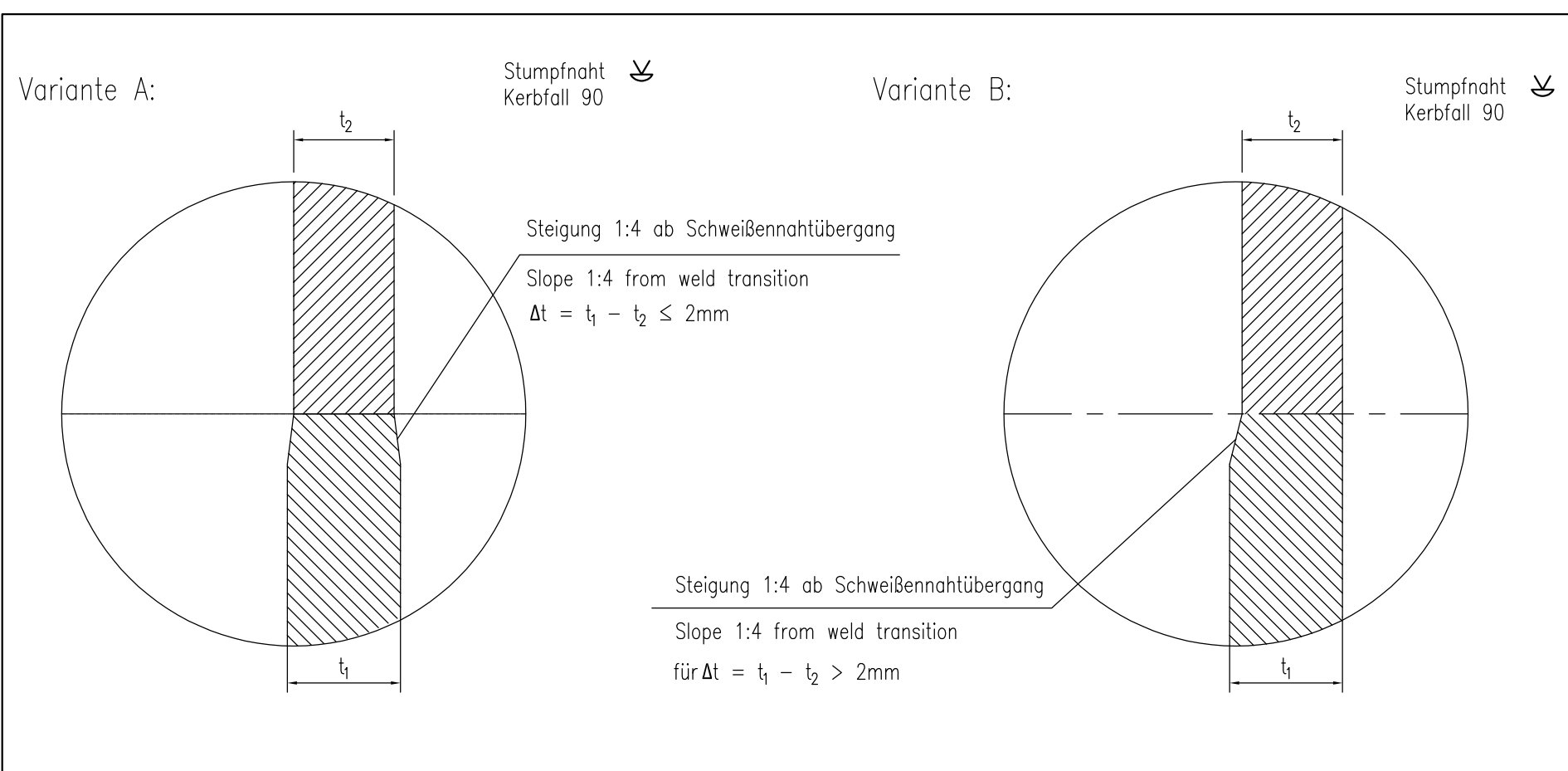
Draufsicht Flansch 2/Top view 2

M.: 1:20



Kerbfalklasse / zulässige Butzen

Sep.	Höhe [m]	Schuss [H]	t [mm]	erf. KFK Stahlsturm	30/M6	30/M10	30/M16	40/M16	40/M20	Können die Butzen verwendet werden?			
Kopflager	163,824	29	35	43	87	88	89	87	87	ja	ja	ja	ja
	162,889	28	26	43	89	91	92	89	91	ja	ja	ja	ja
	160,083	27	17	64	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	157,289	26	17	65	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	154,489	25	17	66	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	151,689	24	17	67	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	148,889	23	17	71	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	146,089	22	17	74	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	143,289	21	17	77	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	140,489	20	17	80	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
Mittelsegment	137,689	19	17	83	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	134,889	18	17	86	86	87	89	85	87	ja	ja	ja	ja
	131,839	17	18	88	87	87	89	86	87	nein	nein	ja	nein
	128,989	16	18	90	87	87	89	86	87	nein	nein	nein	nein
	126,139	15	19	89	88	88	90	87	88	nein	nein	ja	nein
	123,289	14	20	88	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja
	120,439	13	21	87	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja
	117,589	12	22	86	89	90	92	88	90	ja	ja	ja	ja
	114,739	11	23	87	89	90	92	89	90	ja	ja	ja	ja
	112,646	10	24	86	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja
Fußsegment	110,554	9	24	86	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja
	107,454	8	24	88	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja
	104,604	7	25	90	89	91	93	89	91	nein	ja	ja	nein
	101,754	6	27	88	89	90	92	89	90	ja	ja	ja	ja
	98,904	5	28	88	89	90	91	88	90	ja	ja	ja	ja
	96,054	4	29	88	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja
	93,204	3	30	88	89	89	90	88	89	ja	ja	ja	ja
	90,354	2	31	88	89	89	90	88	89	ja	ja	ja	ja
	87,504	1	32	88	88	89	90	88	88	ja	ja	ja	ja
	84,654	0	33	88	88	89	90	88	88	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.
Main longitudinal weldings of the steel wall at 90° offset.

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-Zertificate EN 1090-2 EXC 3

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

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

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

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

- Oberflächenbeschaffenheit nach DIN EN 10163-2 Klasse B2.
- Surface finish according 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 ≤ 1,0 mm/30°
- Short waviness ≤ 1,0 mm/30°

- Neigungen αs der Flanschaußenflächen zur Turmwand nach dem Vorspannen 0,0°-0,7°.
- Taper αs 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.

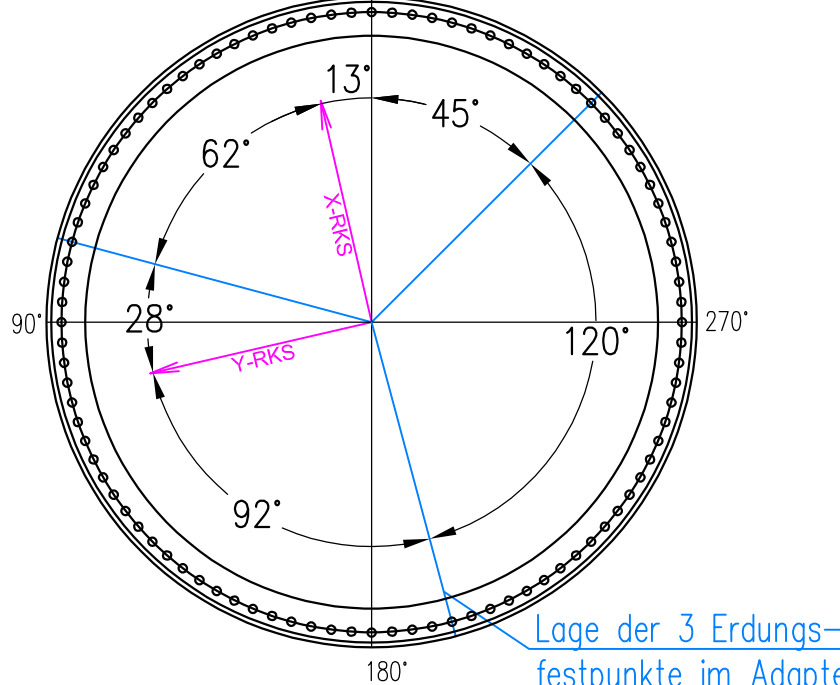
Ultraschallkontrolle der Schweißnähte: Flanschnähte 100%, Stumpfnähte in Querrichtung 20%, sonstige Nähte 10%.
Ultrasonic inspection of welds: flange welds 100%, lateral butt welds 20%, other welds 10%.

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.

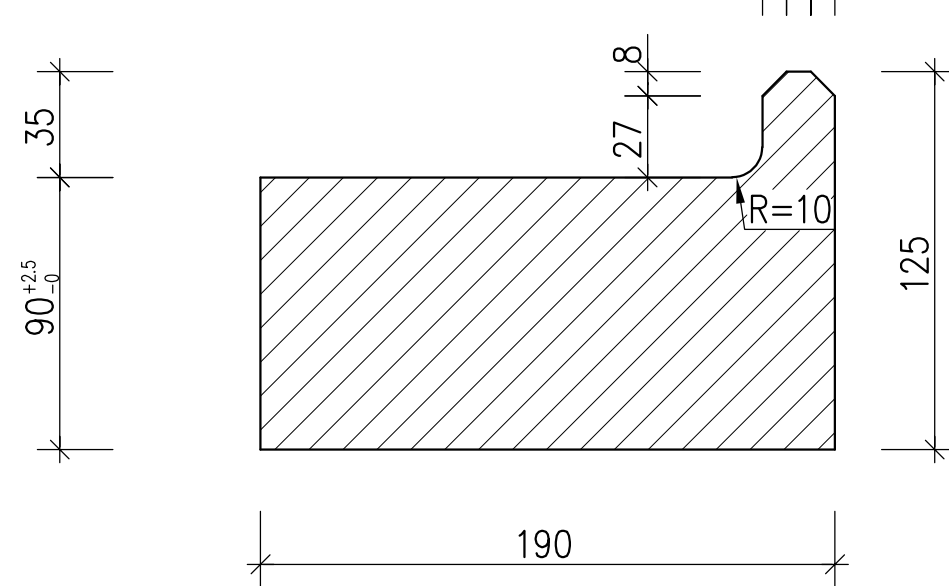
Lage Erdungsfestpunkte

M.: 1:50



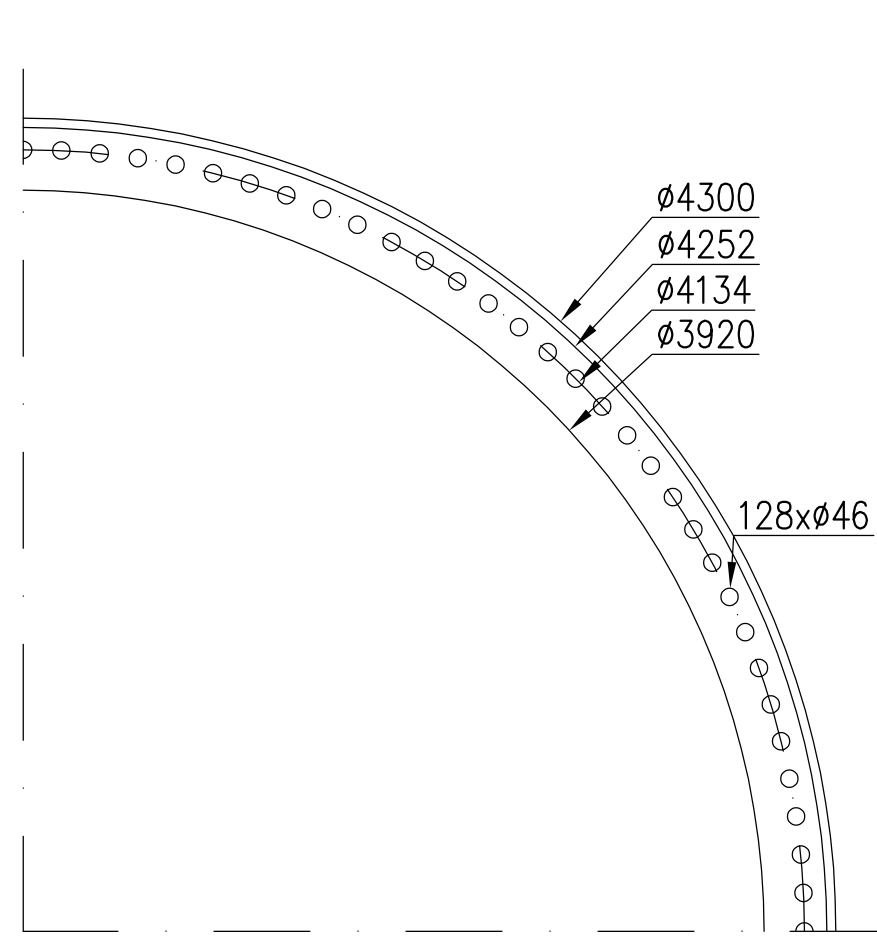
Detail Flansch 1

M.: 1:2,5



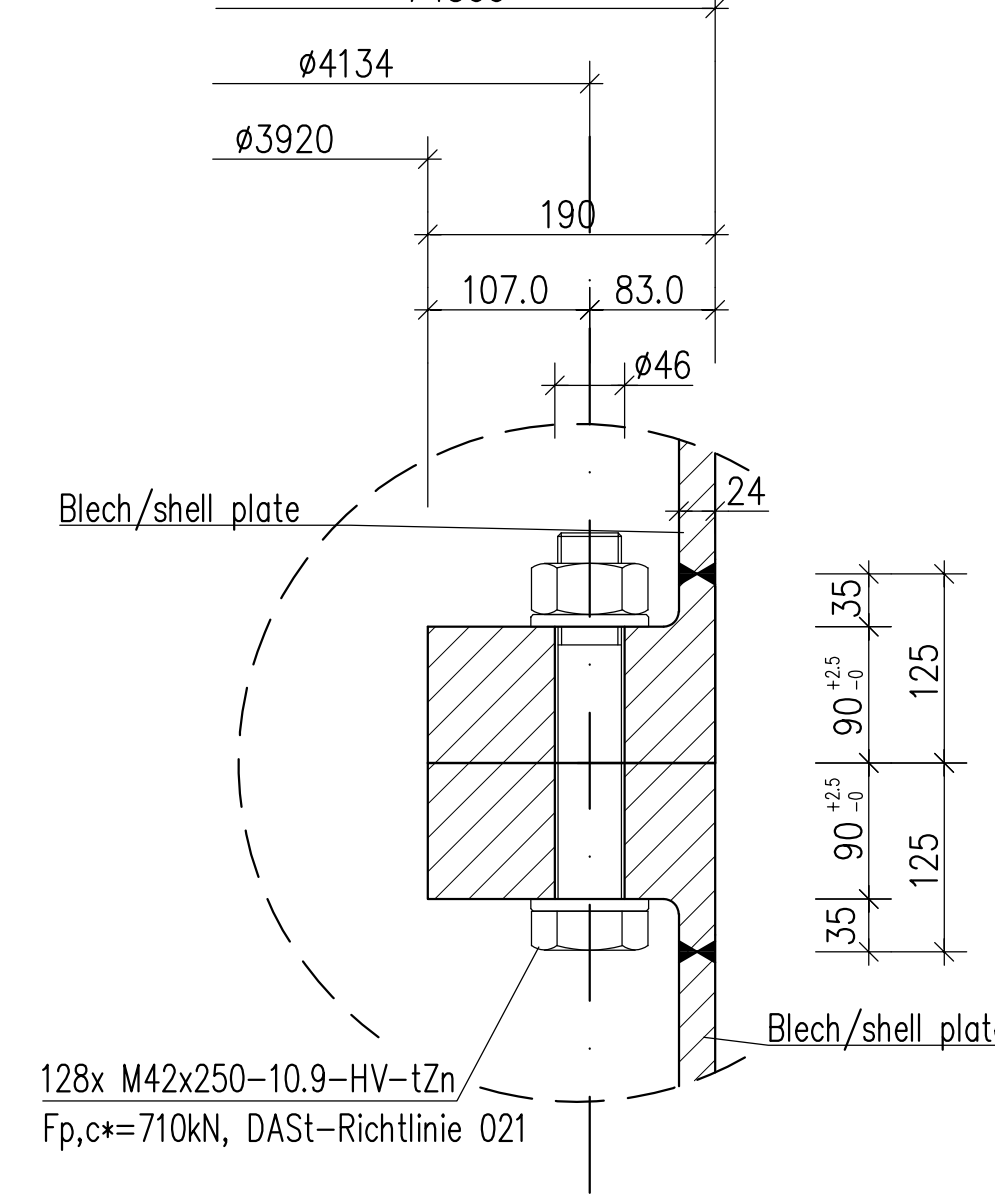
Draufsicht Flansch 1/Top view 1

M.: 1:20



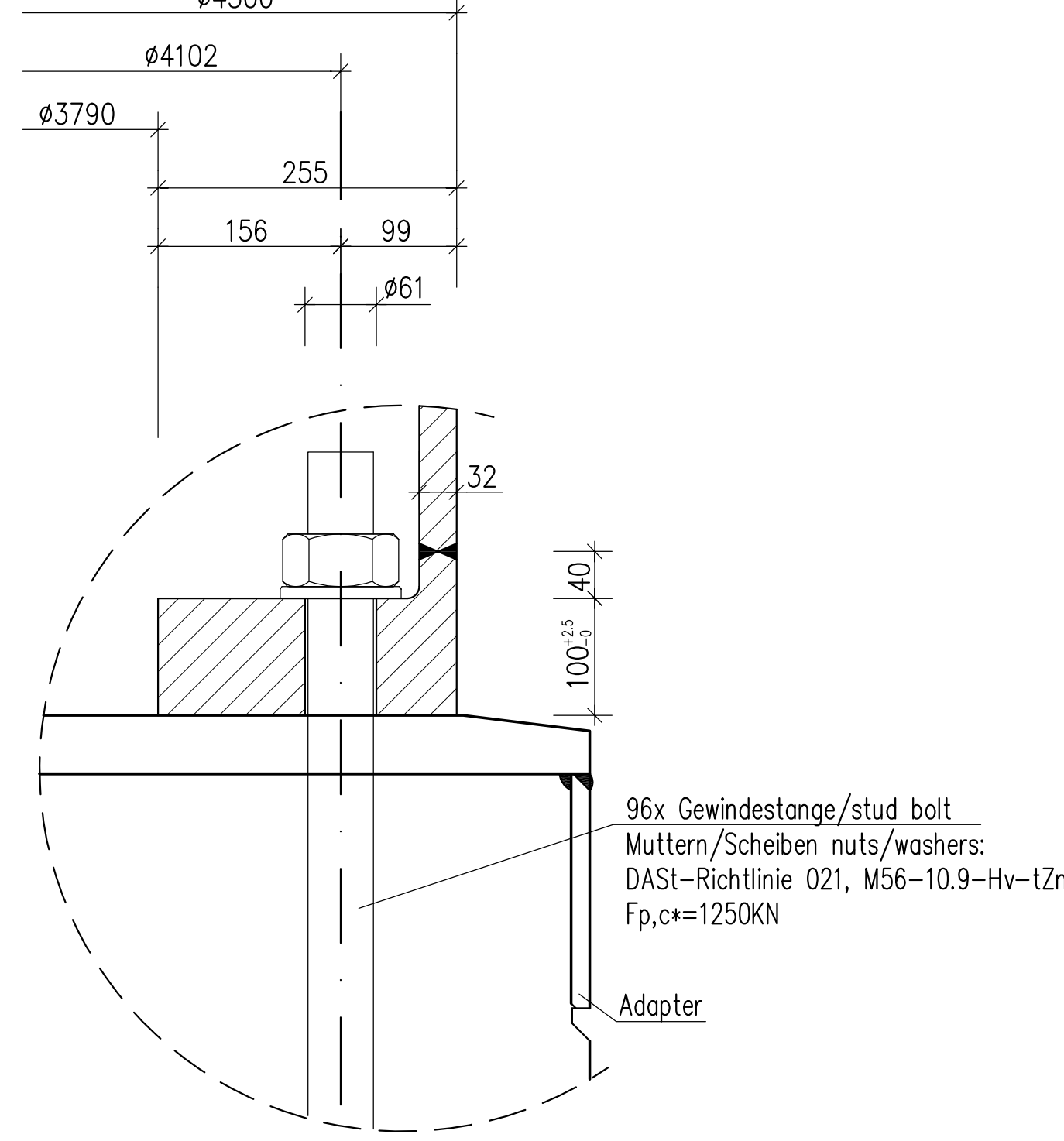
Flansch 1/Flange 1

M.: 1:5



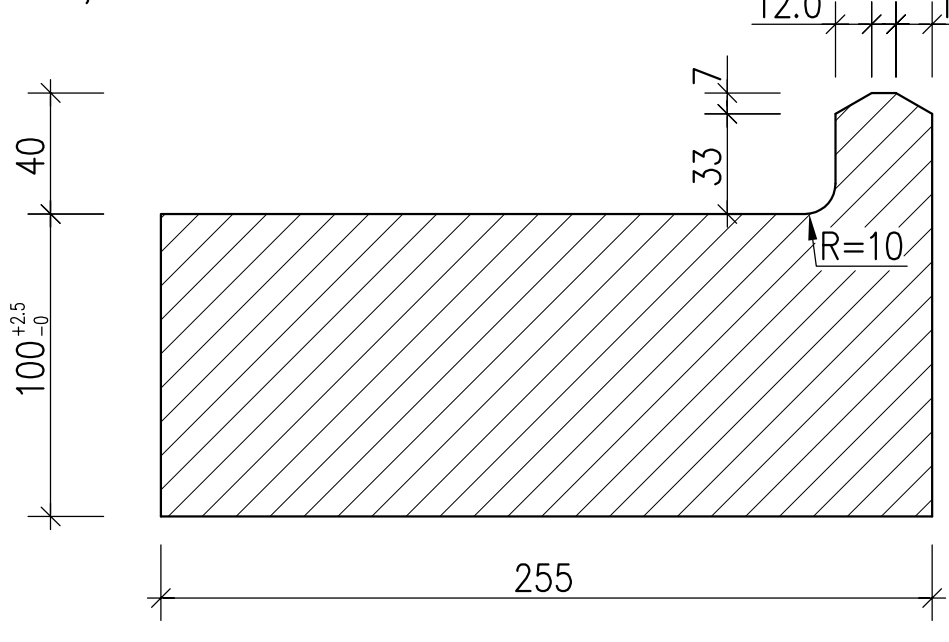
Fußflansch/bottom flange

M.: 1:5



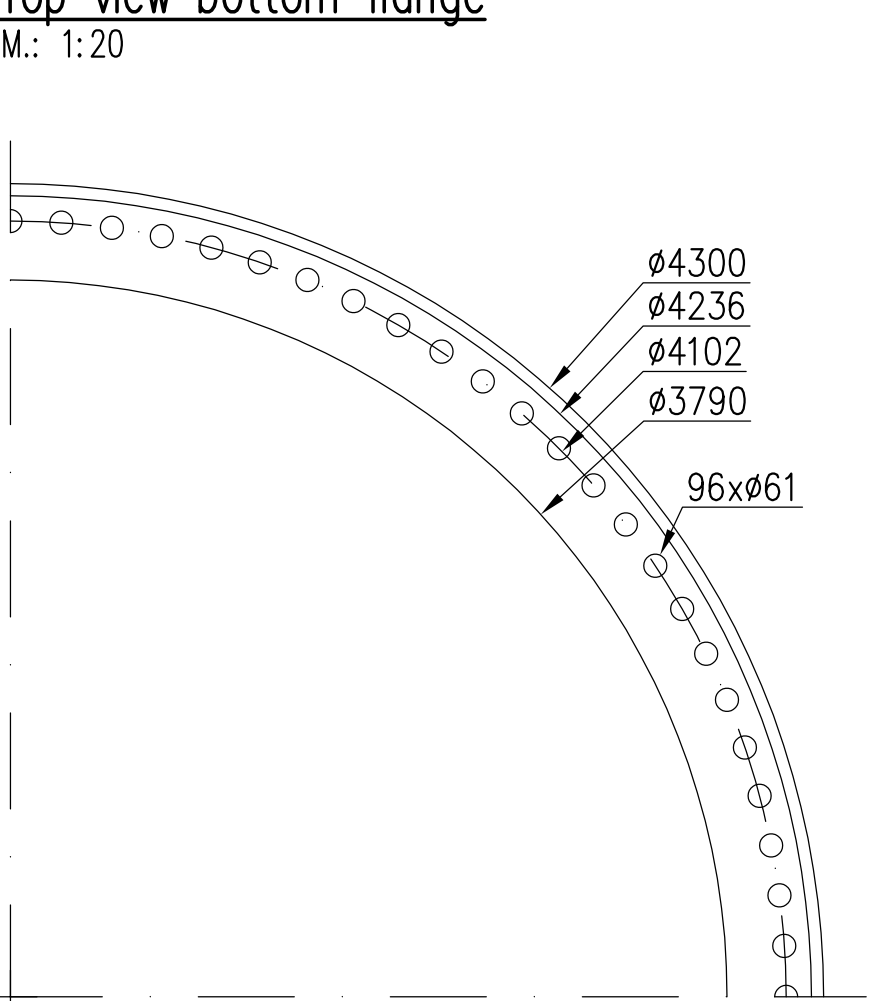
Detail Fußflansch

M.: 1:2,5



Draufsicht Fußflansch/Top view bottom flange

M.: 1:20



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

Temperature range		
Version	Temperatur Bereich für Normal Operation Temperature range for normal operation	Temperatur Bereich für Transport/Lagerung/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

Stahlurm Massen ohne Inneneinbau (kg)

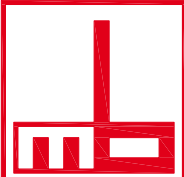
Steel tower masses without internal installation (kg)

	Sektionsgewicht Section weight	Bleche Stells	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	68249	63749	1822	2678
Gesamtgewicht Total weight	179520	166510	13009	

ENERCON Windenergieanlage
E-160 EPH ES-HT-166-ES-C-01
DIBI 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB

ENERCON wind turbine generator
E-160 EPH ES-HT-166-ES-C-01
DIBI 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB

Erst:	Lerzer	Dat:	28.06.2021	Boegl-Planbezeichnung	
gepr.:	Van Oes	Dat:	28.06.2021	Land	Turnipg
Freig.:	Belz	Dat:	28.06.2021	DE	E21 022 XX X
Änderung:	Bezeichnung			erstellt:	Datum:

		MAX BÖGL			
Fortschritt baut man aus Ideen.					
Bauherr:		Max Bögl		Projekt Nr.:	21683
Bauvorhaben:		Windkraftanlage		Wind turbine generator	Blattgr.: 1,19x 84m
Bauteile:		Übersichtsplan		Stahlurm 166m NH	Mössl.: 1:100; 1:25; 1:50; 1:20; 1:5; 1:2,5
		Ispul steel tower 166m NH			
erst.:	Lerzer	Dat.:	28.06.2021	Boegl-Planbezeichnung	
gepr.:	Van Oes	Dat.:	28.06.2021	Land	Turnipg
Freig.:	Belz	Dat.:	28.06.2021	DE	E21 022 XX X
Änderung:	Bezeichnung			erstellt:	Datum:
ENERCON-Planbezeichnung		D0240556-3		Übersicht	
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Genehmigung der Max Bögl AG.					

Softcod-Datenname: DE_E21_022_XX_X_Ubersicht



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 16.11.2023

Prüfnummer: 3443492-20-d Rev. 4

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)
Varianten R0 und R1
Fundament: Fg 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/BOB

Dokument:
3443492-20-d
Rev.4_Enercon_E-160_EP5_E3-
HT-166-ES_FGmA_24m.docx

Das Dokument besteht aus
8 Seiten.
Seite 1 von 8

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

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	13.10.2021	Erstfassung
1	13.12.2021	Neue Rev. Dokumente [10] und [11]
2	07.02.2023	Neue Dokumente [7], [8] und [14]. Neue Revision der Dokumente [15] und [16]. Dokumente [1] bis [4] bleiben weiterhin gültig.
3	12.10.2023	Prüfnummer angepasst (-d), Anlagenbezeichnung R0 ergänzt, Dokumente [2] bis [4], [11], [12] und [15] aktualisiert. Redaktionelle Anpassungen.
4	16.11.2023	Variante R1 ergänzt. Dokumente [5], [6] und [7] hinzugefügt. Dokumente [6] bis [8] und [14] aus Rev. 3 entfernt. Neue Revisionen Dokument [13]. Redaktionelle Änderungen.

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

Inhaltsverzeichnis

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



1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Fundament mit Teilauftrieb D = 24,0 m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 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, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. d, Datum 2023-07-24
ENERCON Dokument Nr. D02397376-4

Variante R0:

- [3] „Schalplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_005_XX_X, Rev. e, Datum 2023-02-16
ENERCON Dokument Nr. D02405554-5
- [4] „Bewehrungsplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_006_XX_X, Rev. d, Datum 2023-02-16
ENERCON Dokument Nr. D02405555-4

Variante R1:

- [5] „Schalplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_005_XX_X, Rev. f, Datum 2023-07-14
ENERCON Dokument Nr. D02405554-6
- [6] „Bewehrungsplan Fundament Ø24.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Zeichnung Nr. DE_E21_006_XX_X, Rev. g, Datum 2023-10-30
ENERCON Dokument Nr. D02405555-7

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [7] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. a, vom 2021-10-06
ENERCON Dokument Nr. D02405545-1
- [8] „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
- [9] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [10] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0. – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 2, Datum 2022-03-22



Industrie Service

- [11] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=166,6m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Zeichnung Nr. DE_E21_001_XX_X_Uebersicht, Rev. f, Datum 2023-05-24
ENERCON Dokument Nr. D02405551-6
- [12] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2021-10-07
ENERCON Dokument Nr. D02405544-2
- [13] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21), Windenergieanlage Enercon E-160 EP5 E3, Varianten R0 und R1, 166 m Nabenhöhe, Windzone S“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,
Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 3, Datum 2023-11-16
- [14] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG,
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, vom 2023-01-18
ENERCON Dokument Nr. D02405545-2
- [15] „Montageanleitung Ankerkorb mb 3.0“ erstellt von Max Bögl Wind AG,
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 den Schalplänen [3] und [5] entnommen werden.

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsklassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsklassen 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 Fundamentauslegung [1] basiert auf den Lasten aus Dokument [7].

Die Lasten in [14] wurden mit dem Turmprüfbericht [13] bestätigt und sind für die R0 und R1-Variante des Fundaments gültig.

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 Fundamentdatenblatt [2] $k_{\phi,dyn} \geq 200$ GNm/rad und $k_{\phi,stat} \geq 40$ GNm/rad.

Der anstehende Baugrund muss mindestens eine Bodenpressung gemäß Fundamentdatenblatt [2] 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 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 [12] geführt und in [13] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [9] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [10] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [9] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [10] für dieses Fundament gültig ist.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [7] und [14] 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 [12] für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [13] bestätigt.

Ausführungsvarianten:

Die folgenden Ausführungsvarianten der Flachgründung werden über diesen Prüfbericht zur Typenprüfung abgedeckt:

Anlagen-Variante	Fundamentdatenblatt	Ausführungspläne
R0	[2]	[3] und [4]
R1	[2]	[5] und [6]

Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichtes:

Die Variante R1 sowie die zugehörigen Zeichnungen [5] und [6] wurden aufgenommen. In den Zeichnungen [5] und [6] wurde lediglich der Kabelschacht konstruktiv auf die Anforderungen der Anlagenvariante R1 angepasst.

6. Prüfergebnis

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

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

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

Auflagen für Herstellung und Errichtung

Baugrund

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

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.



Industrie Service

6. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische 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 $23,7 \text{ kN/m}^3$ ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
9. Die in [3] bzw. [5] spezifizierte Trockenwichte 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 be 'B. Ober'.

B. Ober

Der Leiter

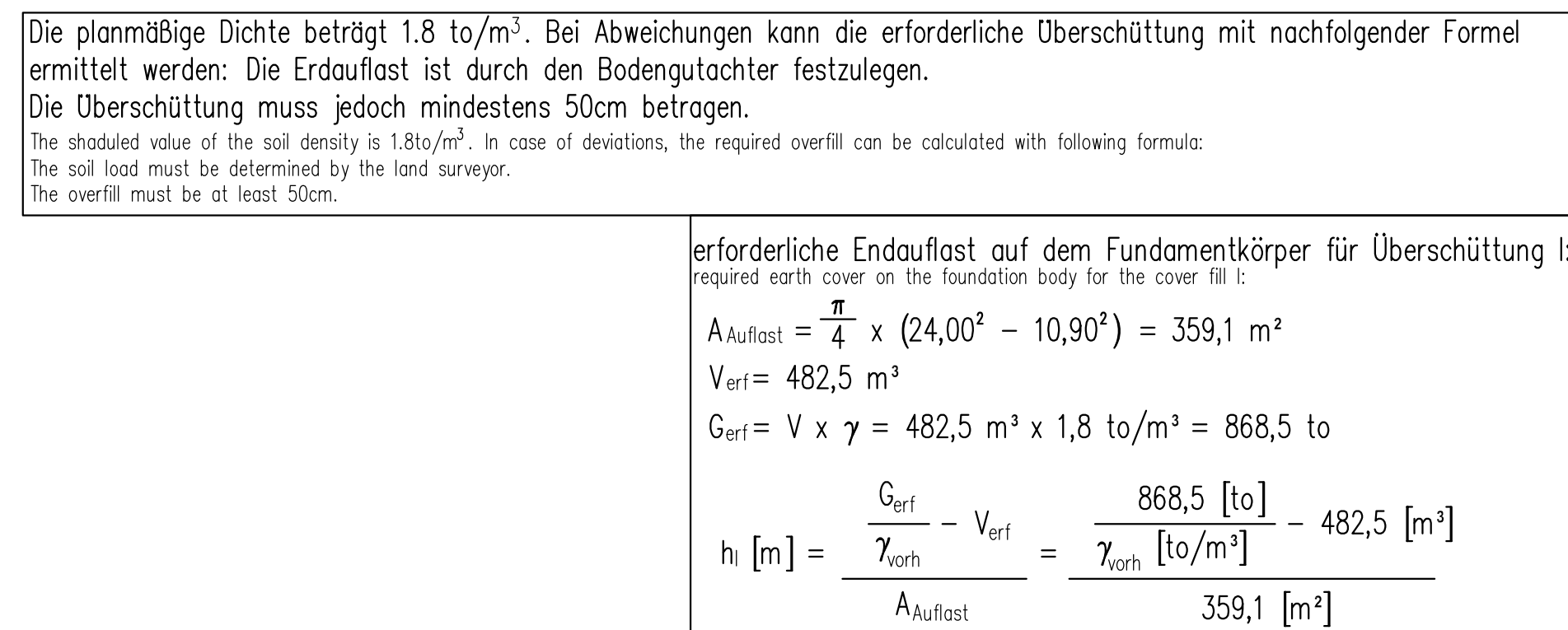
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'S. Mayer'.

i.V. S. Mayer

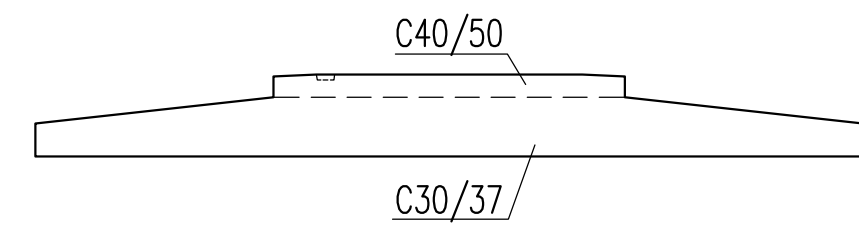
M 1:50

The construction joint between the base and the body of the foundation must be made smooth.

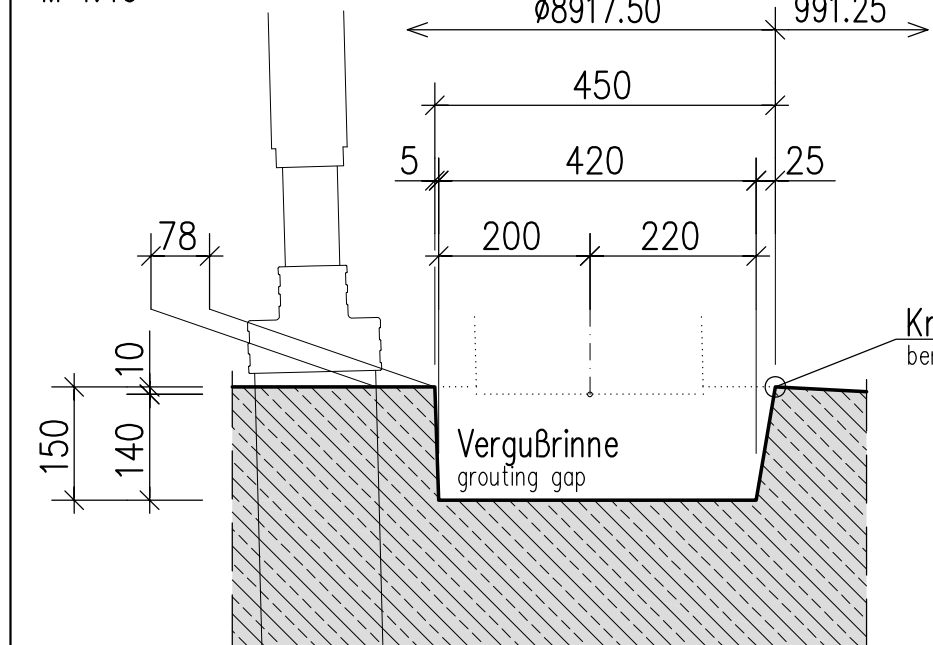
The concretes can be poured "wet-on-wet"



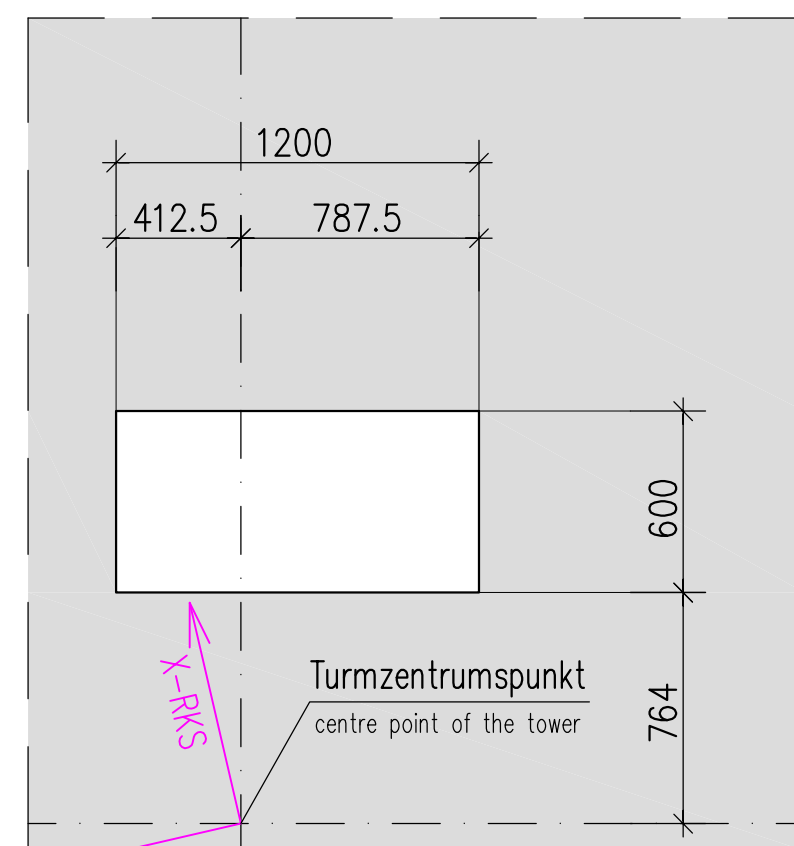
Volumen Beton:
volume concrete: 746m^3
Fundamentkopf = 54m^3
Fundamentplatte = 692m^3
Gewicht: weight: 18650kN



M 1:10



M.: 1:25



*1) Folgendes Material ist zu verwenden:
The following material must be used:

BACHL EPS Wärmedämmplatten EPS040 W/DI

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

TOI
M 1:50

Vermessungsachse für die
Schalungseinrichtung auf d
Sauberkeitsschicht anreißer
mark survey axis for installation of
form work on granular subbase

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

Y-RKS

Vermessungsachse für die
Schalungseinrichtung auf d
Sauberkeitsschicht anreißer

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

Attention:

Sichtbare Betonkanten 1.0/1.0cm fasen

Visible concrete edges chamfer 1,0/1,0cm

<p>Die maximale Schiefstellung infolge Baugrundsetzungen dürfen gemöÙ der DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012, folgenden Wert nicht überschreiten:</p> <p>The maximum tilt due to differential settlements must not exceed the following value, according to DIBt-guideline, edition october 2012:</p>		<p>In 25 Jahren 3mm/m in 25 years 3mm/m</p>
<p>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:</p>		<p>$\sigma_{B,k} = 219 \text{ kN/m}^2$</p>
<p>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:</p>		<p>$\sigma_{B,k} = 171 \text{ kN/m}^2$</p>
<p>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:</p>		<p>$\sigma_{B,k} = 284 \text{ kN/m}^2$</p>
<p>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.</p>		

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

Maximale charakteristische Lasten ($\gamma_{f,0.001}$) in der Stöhlge der Gründung (exkl. Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaiger Anbauteile)			
Maximum characteristic loads ($\gamma_{f,0.001}$) at the joint between bottom of foundation and soil (excl. earth cover III, hydrostatic uplift and possible mounting parts)			
	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
M_k [kNm]	171768	115980	21740

Betonfestigkeitsklasse: concrete strength class:	C30/37 und C40/50
Zementsteine grade of cement:	CEM II-Zementsteine (einschließlich) oder CEM II-Zementsteine mit Flyasche (einschließlich) oder CEM III- und CEM IV-Zementsteine mit Flyasche (einschließlich mit fly ash)
Betondeckung Fundament: required concrete cover:	c _v = 5,5cm
Expositionsklasse: exposition class:	XA1, XA2, XD1, XF1 nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 206-1 mit dem Bauaufsichtlichen Hersteller Anforderungen gestellt werden. (Anmerkung: Expositionsklasse XD1 ist im Außenbereich ohne Einbrandbedrohung erforderlich) If there are higher requirements from the building ground consultant (geologist) (Note: Exposure class XD1 is outside open ground / earth cover)
Fachplanungsklasse: technical class:	MF
Anforderungen: execution:	Massebeton nach DAStb-Richtlinie: Massive Bauteile aus Beton (Fundament)ausführung nach Bauteile concrete according to DAStb-Richtlinie: concrete structural elements Fundament construction according to: DIN EN 206-1:1999, DIN 1045-2:1999, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670:1999, DIN 1045-3

Fugenausbildung mit einem Vergussmoertel siehe zugehoerigen Uebersichtsplan	Joint construction with a grouting mortar see associated layout complete tower
--	---

<u>Grundlegende Anforderungen</u>	<u>Fundamental requirements</u>
Nennwert des Grobkörns der Gesteinskornung:	maximal grain size of the aggregate:
Fundamentkorn $\leq 16\text{mm}$	foundation cop $\leq 16\text{mm}$
verbleibender Fundamentkornkörper $\leq 32\text{mm}$	remaining foundation body $\leq 32\text{mm}$
Klasse des Chloridgehaltes: Cl 0,20	class of the chlorid concentration: Cl
Frischbetontemperatur nach Angabe Betontechnologie	Temperature of fresh concrete according to
jedoch maximal 30°C	therpoholn but not higher than 30°C

<p>Zusätzliche Anforderungen</p> <p>Kriech- und schwindamben Beton für die Außenbauteile.</p> <p>Wegen der großen Betonabmessungen ist zur Vermeidung schockierender Auswirkungen in alle Abwandern und Schwindänderung ein Betonsteigetechnologie einzuschalten.</p> <p>Probekörper sind gemäß baustellenspezifischen Prüfplan zu erstellen.</p> <p>Fundamentoberfläche nachverleihen.</p> <p>Fundamentler und Leerräume nach den Angaben der Firma Encecon verlegen.</p>	<p>Additional requirements</p> <p>Low shrink and creep concrete for the external parts.</p> <p>An expert on concrete technology has to be contacted to avoid the damage due to shrinkage, hydration and creep effects.</p> <p>Concrete test-specimens must be prepared according to the respective inspection plan.</p> <p>Repress and mechanical abrade the foundation surface.</p> <p>The earthing of the foundation and the reinforcement must be done according to Encecon.</p>
---	--

Der Auftragnehmer ist fuer alle Maßnahmen sowie die
korrekte Arbeitsausführung vor Ort verantwortlich.
Es sind nur angegebene Maßnahmen zu verwenden.
Jegliche Unstimmigkeiten muessen dem Bauleiter gemeldet werden
bevor die Arbeit fortgesetzt wird.

The contractor is responsible for all work
out of the work on site.
Only figured dimensions are to be used.
Any discrepancies are to be
reported to the engineer before proceeding.

Die Aushubarbeiten sind von einem Fachingenieur zu ueberwachen.	All excavations have to be inspected
Die Betonzusammensetzung ist durch entsprechende	The composition of the concrete has

The after-treatment measures have to be carried out in consultation with the concrete technician.

die Nachbehandlungsmethoden sind mit dem Betonbetonungen bei die Betoneigenschaften und die Witterungsverhältnisse abzustimmen.

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

ZUGEHÖRIGE PLÄNE		ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR.:	Planbezeichnung	
DE_E21_001_XX_XX_Ubersicht	Übersichtslinien Gesamtumr.	layout complete tower
DE_E21_004_XX_XX_Erdung	Erdung für Fundament	grounding for foundation
DE_E21_005_XX_XX_Bewehrung	Bewehrungslinien Fundament	foundation reinforcement plan
DE_E21_081_XX_XX_Ubersicht	Übersichtslinien Leertourastruit	layout pipe penetration
M576	Spanngliedverankerung 3,0	tendon anchoring 3,0
DE_E21_M012_Montagoplan	Absteckung Montagogrammen	staking out mounting frame

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

	Aussparung 600x1200 ersetzt	Großbau.	16.02.2023
	Anlagenbezeichnung berichtigt (engl. Text angepasst)	Müller	12.01.2023
	Methode hinzugefügt; lastfall BS-P angepasst; Planquell überarbeitet	Müller	20.12.2022
	Vermehrung der SKS hinzugefügt	Großbau.	02.12.2021
	Draufsicht berichtigt / Spanngliederkonstruktion berichtigt	Sch./Mo.	10.08.2021



Fortschritt baut man aus Ideen

Bauherr:	Max Bögl	Projekt Nr.:	21683
Bauvorhaben:	Windkraftanlage	Blattgr.:	21.1.12

Bauteile:	Schalplan Fundament Ø24.00m formwork plan foundation	Maßstab: 1:50
-----------	---	------------------

erst.: Schr.	Dat.: 10.06.2021	Boegl-Planbezeichnung						
gepr.: Reilensp.	Dat.: 10.06.2021	Land	Turmtyp	Ringtyp	Segment	Besonderheit	Planart	Index

freig.: Betz	Dat.: 10.06.2021	DE	E21	005	XX	X	Schalplan	e
EMBOON, Blasenröhre		D02405554_5						

Mar-Bog-Unterrichtsmaterialien: In diesem Dokument befinden wir uns jegliche geistlichen Urheberrechtsrechte und sonstigen Immaterialgüterrechte vor. Ohne unsere vorherige schriftliche Zustimmung darf diese Unterlage weder vervielfältigt, noch Dritten zugänglich gemacht werden oder in einer anderen Weise.

außerhalb des dem Dokument zugrundeliegenden, mit uns bestehenden Vertragsverhältnisses verwendet werden. Insbesondere übertragen wir die Verwendung außerhalb des diesem Dokument zugrundeliegenden Projekts, sowie eine Verwendung innerhalb des zugrundeliegenden Projekts bezüglich ausschließlich Ökote betreffende Lösungsbereiche.

Man.Roo's Copyright Notice: We reserve all copyrights and all other intellectual property rights in this document. Without our prior written and informed permission, this document may not be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise.

we warrant that the use of this document for purposes other than for the underlying project as well as the use for service areas solely concerning third parties within the underlying project.

SCHNITT 1-1

Section 1-1

M 1:50

Arbeitsfuge zwischen Sockel und Fundamentkörper ist glatt herzustellen.
The construction joint between the base and the body of the foundation must be made smooth.

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

bei max. Überschlüttung
at max. cover fill
max. allowable water level

DRAUFSICHT

TOP VIEW

M 1:50

Detail Tür "Vergußbrett" siehe Plan:
Detail door "Overmoulding board" see Plan:
DE_E21_081_XX_X_Obersicht

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

Vermessungsschse für die
Schalungseinrichtung auf der
Sauberkeitsschicht anreiben
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 fassen
Visible concrete edges chamfer 1,0/1,0cm

Die planmäßige Dichte beträgt 1.8 to/m³. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschlüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdauflost ist durch den Bodengutachter festzulegen.
The standard value of the soil density is 1.8to/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 Endauflast auf dem Fundamentkörper für Überschlüttung I:
required earth cover on the foundation body for the cover fill I:

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

$$h_1 [\text{m}] = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{erf}}} = \frac{868,5 [\text{to}]}{\gamma_{\text{erf}} [\text{to/m}^3]} = 482,5 [\text{m}^3]$$
$$359,1 [\text{m}^2]$$

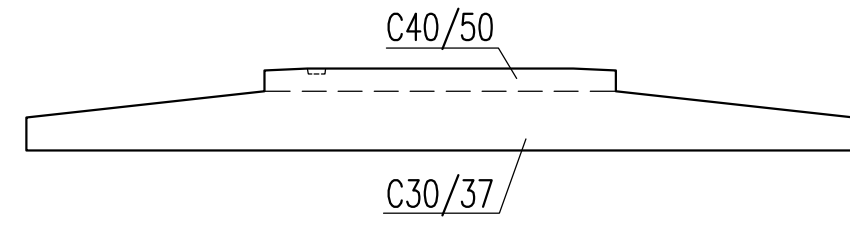
Volumen Beton:

volume concrete: 746m³

Fundamentkopf = 54m³

Fundamentplatte = 692m³

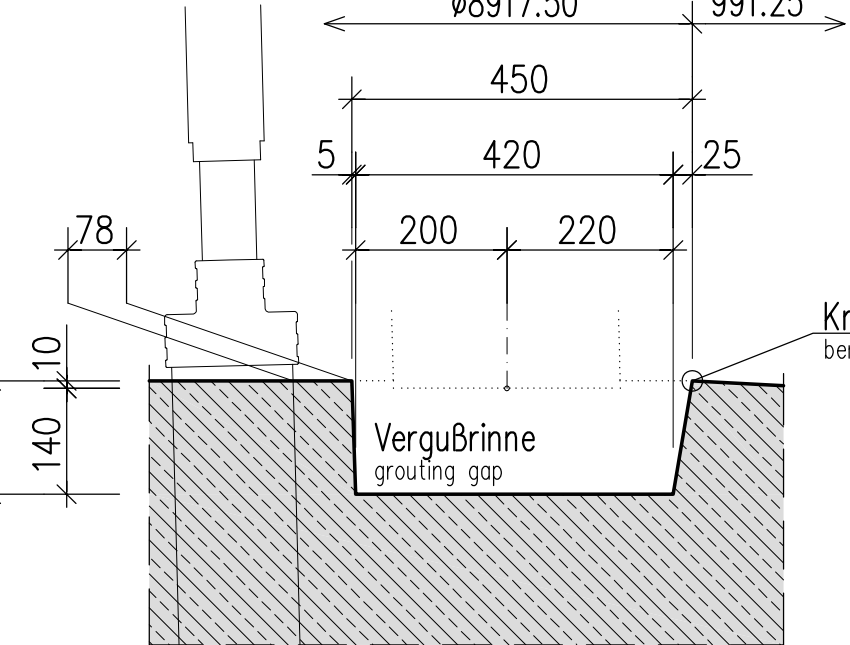
Gewicht: weight: 18650kN



Detail "A" (VerguBrinne)

Detail "A" (grouting gap)

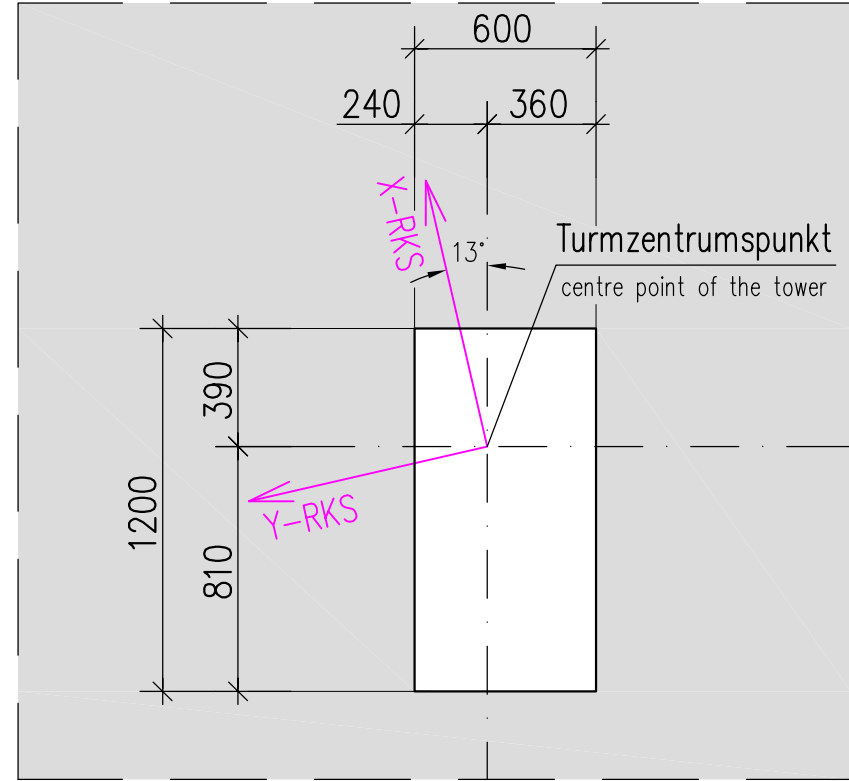
M 1:10



DRAUFSICHT AUSSPARUNG

TOP VIEW RECESS

M: 1:25



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.

*) Folgendes Material ist zu verwenden:
The following material must be used:

BACHL EPS Wärmedämmplatten EPS040 M/DI

Leerrohrdurchführung, Einbauteile,
etc. siehe Plan:
pipe penetration, installation parts, e.g. see plan:
DE_E21_081_XX_X_Obersicht.

Die maximale Schiefstellung infolge Baugrundssetzungen 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:

$\sigma_{R,k} = 219 \text{ kN/m}^2$

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 Baugrundsutachter 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 Baugrundsutachter zu erbringen. Dabei ist die mittlere Bodenpressung mit den Lasten aus folgender Tabelle zu ermitteln:
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 ($\gamma_R=1,00$) in the joint between bottom of foundation and soil (excl. earth cover III, hydrostatic uplift and possible mounting parts)			
	BS-P (DIN 1054:2010)	BS-T (DIN 1054:2010)	BS-A (DIN 1054:2010)
Vk [kN]	36717	36717	36717
Hk [kN]	1611	822	1475
Vk [kN/m]	171768	115980	217140

Betondeckungsfestigkeitsklasse: concrete strength class:	C30/37 und C40/50
Zementart: grade of cement:	CEM II-Zemente alleine (exclusively) oder CEM II- und CEM III-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 Baugrundsutachter höhere Anforderungen gestellt werden. (Anmerkung: Expositionsklasse XD1 nur im Außenbereich ohne Erdberührung erforderlich) if there are not higher requirements from the building ground consultant (geologist) (Note: Exposure class XD1 in outside areas without backfill / earth cover)
Fauchtigkeitsklasse: humidity class:	MF
Ausführung: execution:	Massenbeton nach DAFStb-Richtlinie: Massive Bauteile aus Beton Fundamentausführung nach / Bulk concrete according to DAFStb-guideline: concrete structural elements Foundation construction 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:
Nennwert des Gesteinskörners der Gesteinskörnung:
Fundamentkopf $\leq 16\text{mm}$
verbleibender Fundamentkörper $\leq 32\text{mm}$
Klasse des Chloridgehalts: 0,2-0,3
Fruchttemperatur 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.
Fundamentlender und Leertender 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
Lieferzeugnisse zu bestätigen.

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

Fundamentanforderungen:
maximal grain size of the aggregate:
foundation cap $\leq 16\text{mm}$
remaining foundation body $\leq 32\text{mm}$
class of the chlorid concentration: 0,2-0,3
Temperature of fresh concrete according to expert for concrete
technology but not higher than 30°C

Additional requirements:
Low shrinkage and creeping concrete shall be used for outside comp.
An expert on concrete technology has to be consulted to avoid
damage due to shrinkage, hydration or possible aggressive
components of the ground.
Concrete test-specimens must be produced in accordance to the building-site
related inspection plan.
Repress and mechanical abrade the foundation surface.
The earthing of the foundation and the layout of the ducts has to
be done according to Enercon.

The contractor is responsible for all dimensions and for the correct setting
out of the work on site.
Only figured dimensions are to be used.
Any discrepancies are to be
reported to the engineer before proceeding.

All excavations have to be inspected by a qualified engineer.
The composition of the concrete has to be confirmed by the delivery certification.

The after-treatment measures have to be adjusted and written down in
consultation with the concrete technology expert according
to the concrete properties and weather conditions.

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

ZUGEHÖRIGE PLÄNE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan Nr.:	Planbezeichnung
DE_E21_001_XX_X_Obersicht	Übersichtsplan Gesamturm
DE_E21_004_XX_X_Erdung	Erdung für Fundament
DE_E21_006_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament
DE_E21_081_XX_X_Obersicht	Übersichtsplan Leerrohraustritt
M578	Spanngliedverankerung 3,0
DE_E21_002_Montageplan	Absteckung Montageplan

ENERCON Windenergieanlage
E-160 EPS ES-HT-166-ES-C-01
DIBT 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB

ENERCON wind turbine generator
E-160 EPS ES-HT-166-ES-C-01
DIBT 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB

ES-1	Loge Aussparung angepasst	Kraft	14.07.2023
ES-2	Aussparung 600x1200 angepasst	Großbau	16.02.2023
ES-3	Anlagenbezeichnung berichtigt (engl. last angepasst)	Bau	13.01.2023
ES-4	Mittelschicht beibehalten (engl. P- angepasst, Planbezeichnung)	Bau	20.12.2022
ES-5	Vermessung der SRS hinzugefügt	Großbau	02.12.2022
ES-6	Frauchtigkeit berichtigt / Spanngliedverankerung berichtigt	Sch. Mes.	10.08.2020

Änderung: Bezeichnung



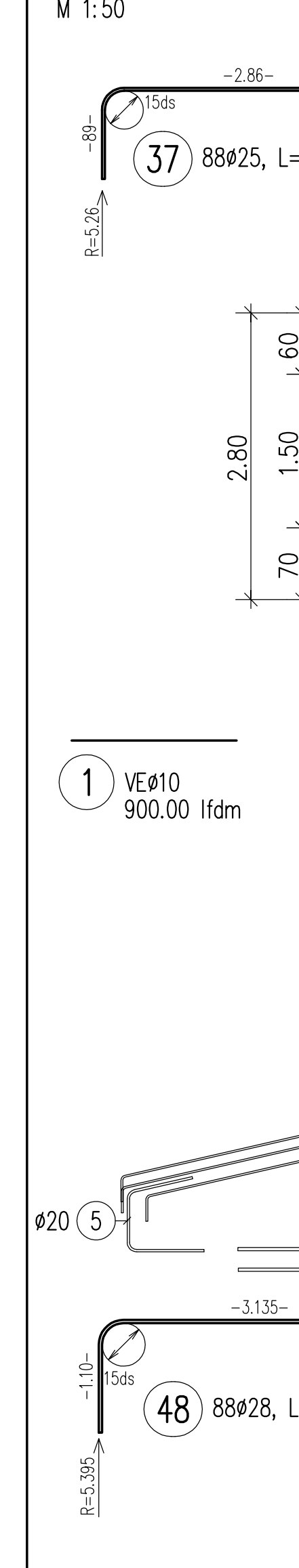
Bauherr: Max Bögl
Bauvorhaben: Windkraftanlage
Bauteile: Schalplan Fundament #24.00m
Istmaß: 1:50

erst.: Schr.	Dat.: 10.06.2021	Boegl-Planbezeichnung
gepr.: Relieng.	Dat.: 10.06.2021	Land Turnip Ringig Segment Bezeichnung
Freig: Betz	Dat.: 10.06.2021	DE E21 005 XX X Schalplan

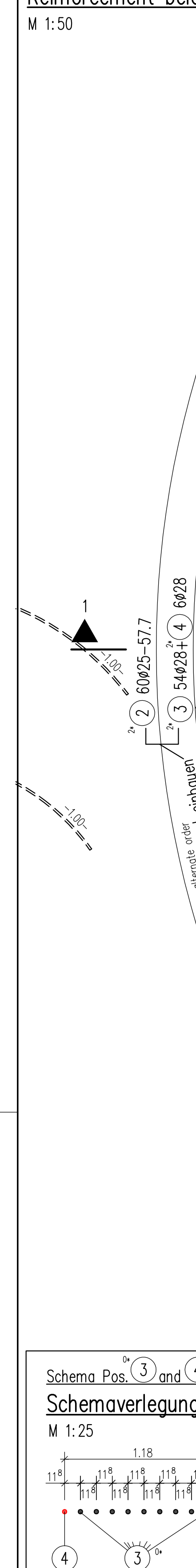
TIERCON-Planbezeichnung: 002405554-6

Software-Datenname: DE_E21_005_XX_X_Schalplan

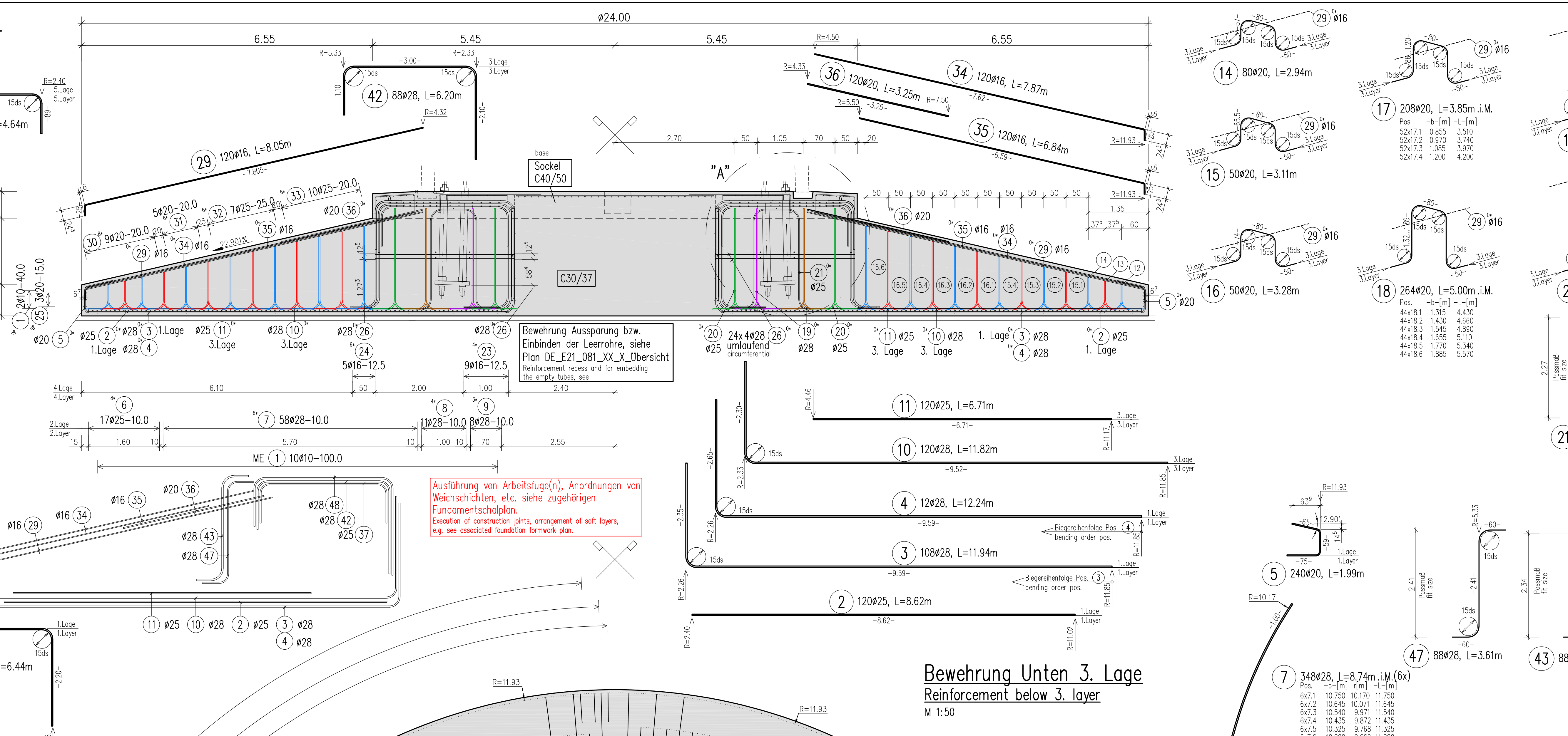
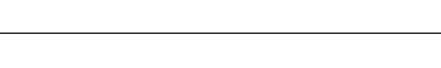
Section 1-1
Section 1-1
M 1:50



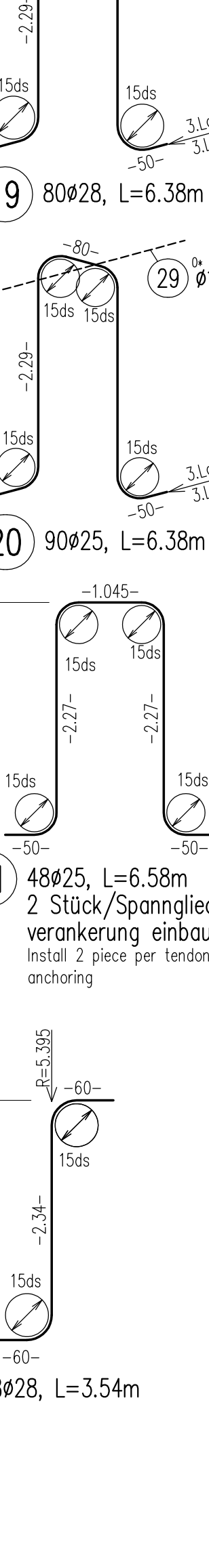
Bewehrung Unten 1.Lage
Reinforcement below 1. layer
M 1:50



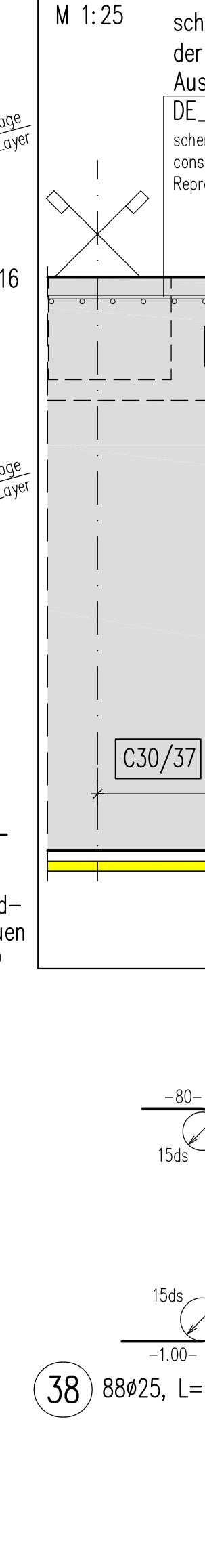
Schemaverlegung Pos. 3 und 4
M 1:25



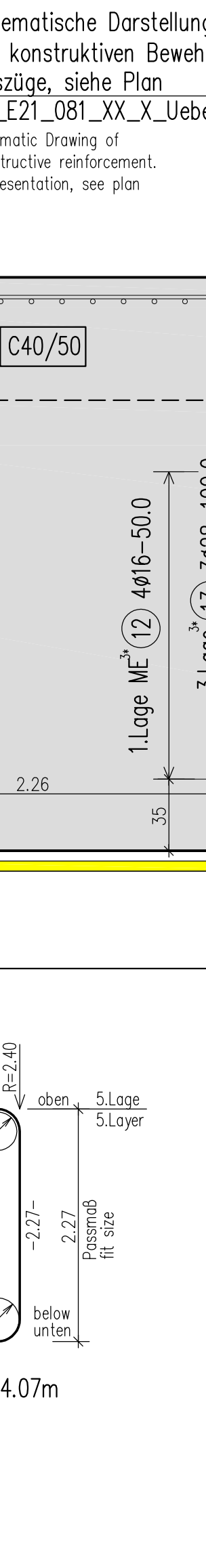
DETAIL "A"
DETAIL "A"
M 1:25



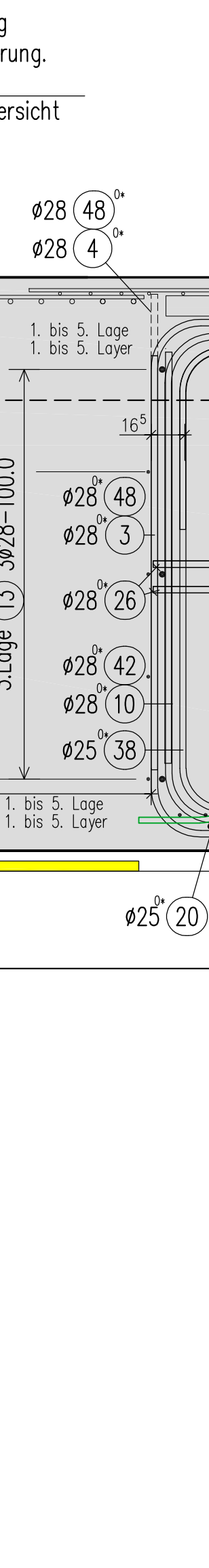
SCHEMA KREISBEWEHRUNG
SCHEMA KREISBEWEHRUNG
CIRCULAR REINFORCEMENT



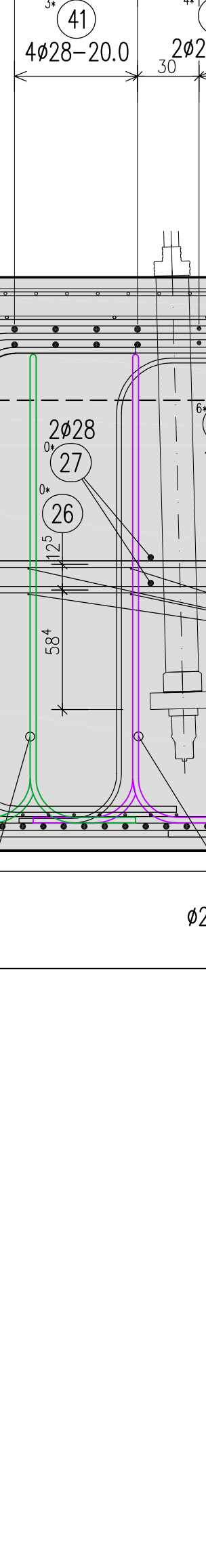
Abstandhalter + Querkraftbewehrung
Abstandhalter + Querkraftbewehrung
Spacer + lateral reinforcement
M 1:50



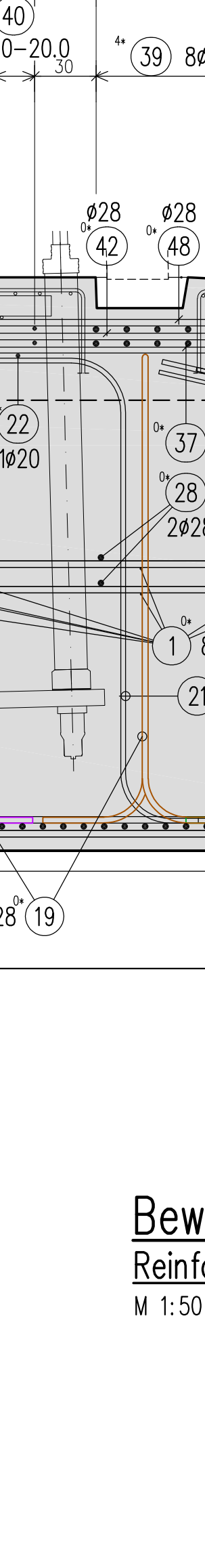
Bewehrung Fundamentschräge Oben
Reinforcement foundation inclination above
M 1:50



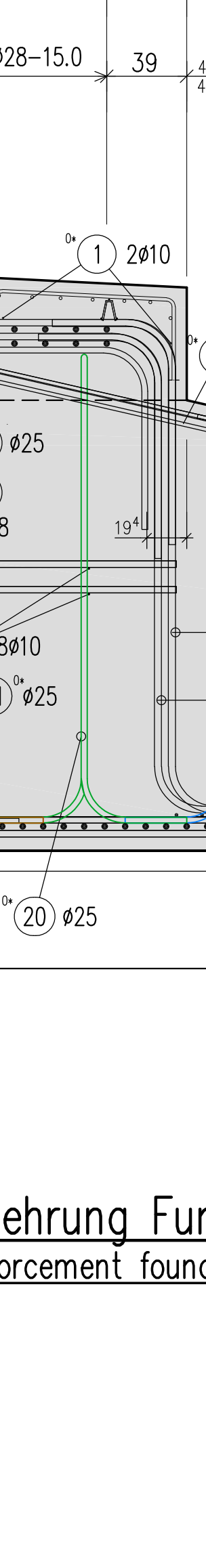
Bewehrung Sockel Oben 1. bis 5. Lage
Reinforcement base above 1. to 5. layer
M 1:50



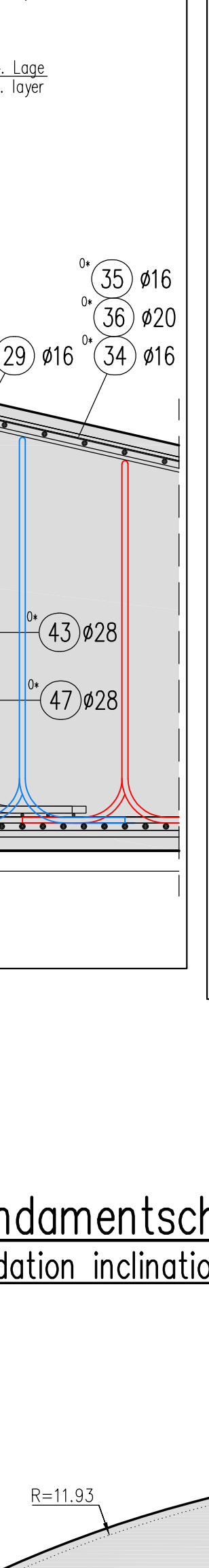
Bewehrung Unten 3. Lage
Reinforcement below 3. layer
M 1:50



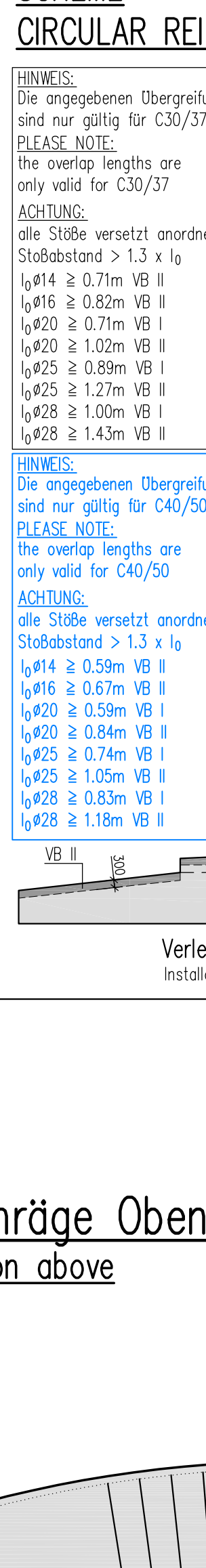
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



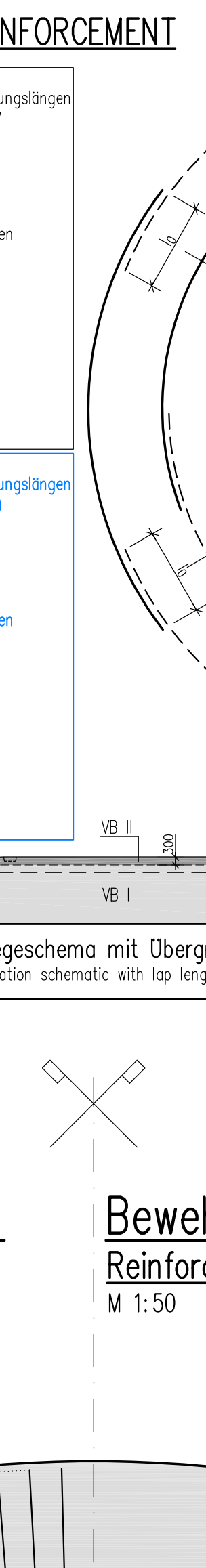
Bewehrung Fundamentkopf
Reinforcement foundation cap
M 1:50



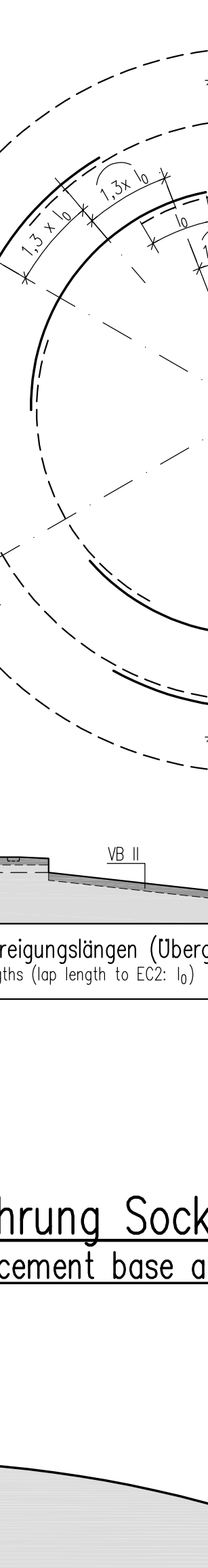
Detail Bewehrung im Türbereich
Detail reinforcement in the area of door
M 1:20



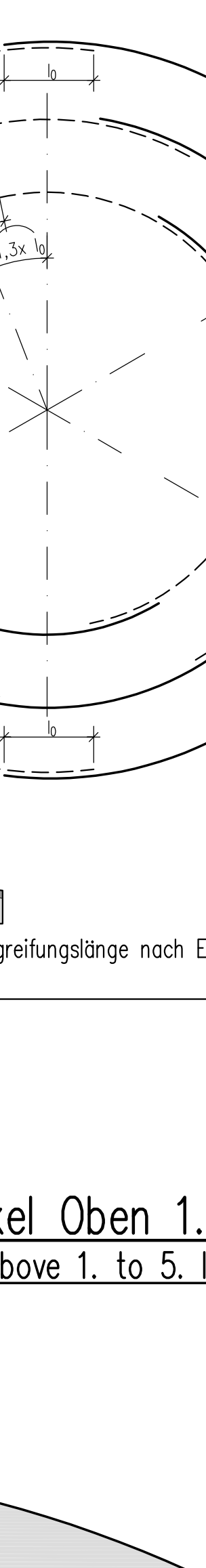
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



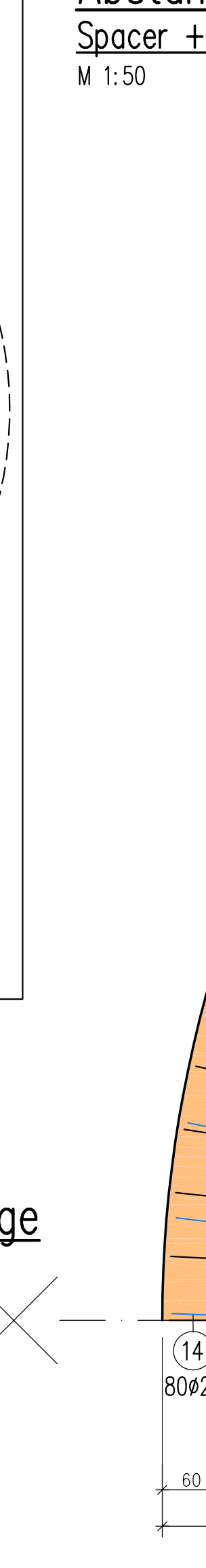
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



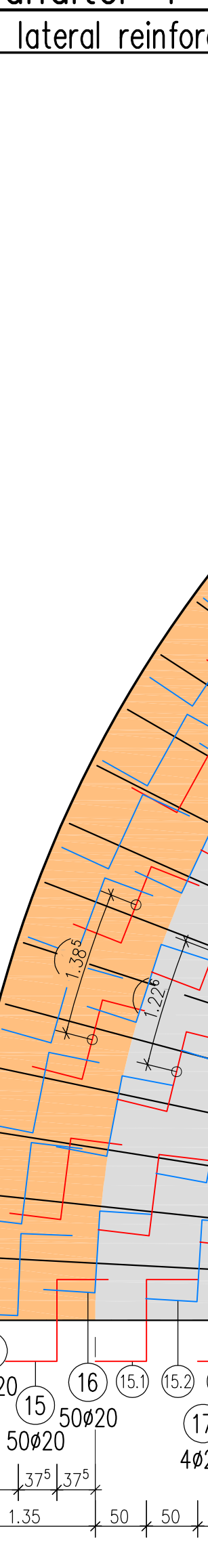
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



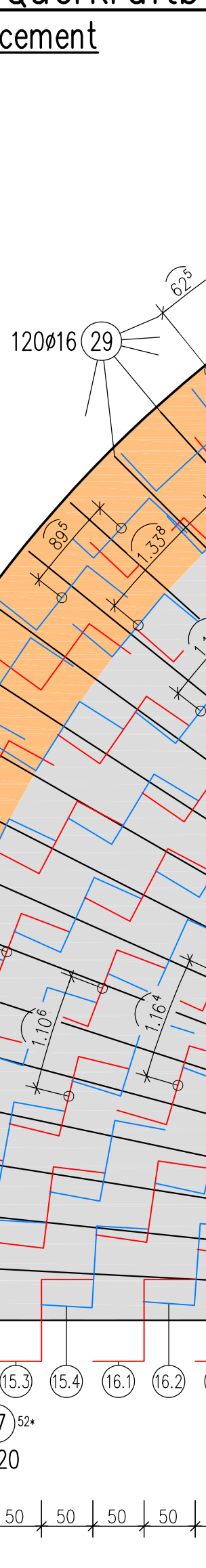
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



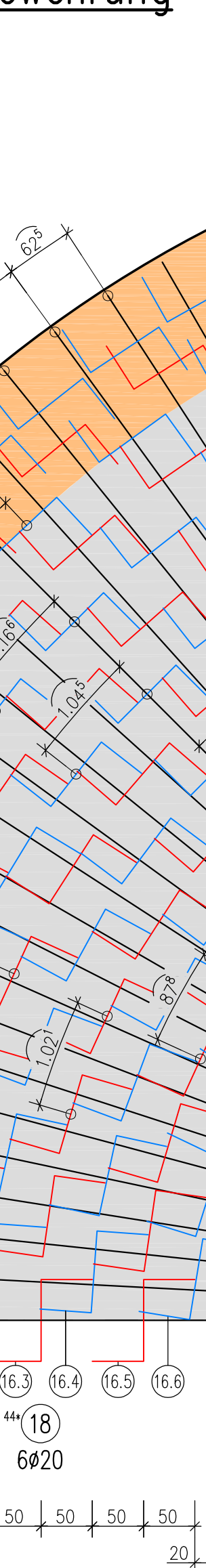
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



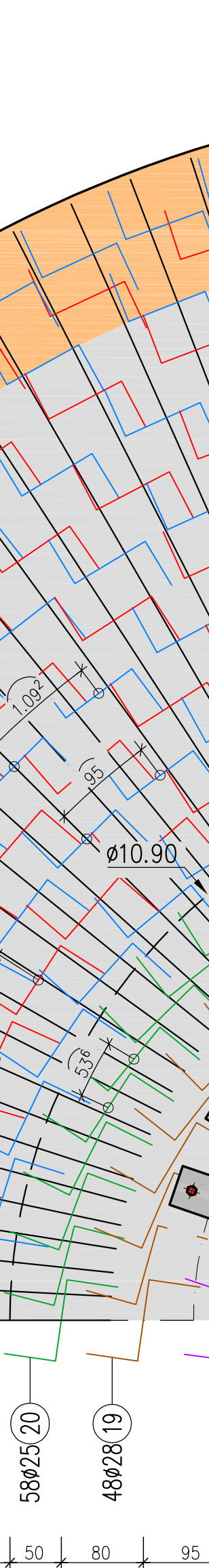
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



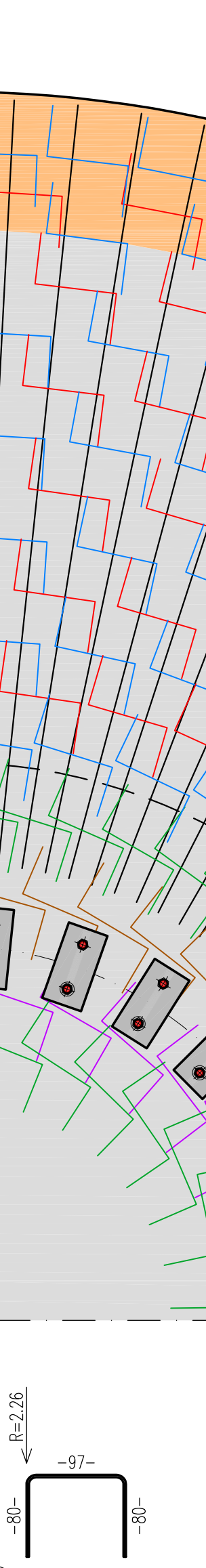
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



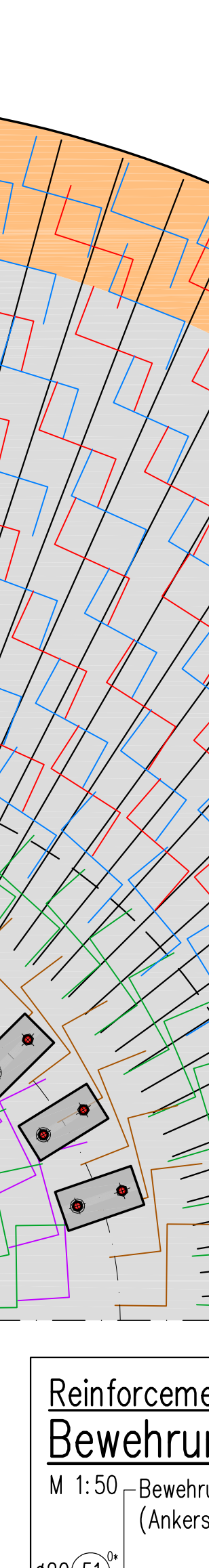
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



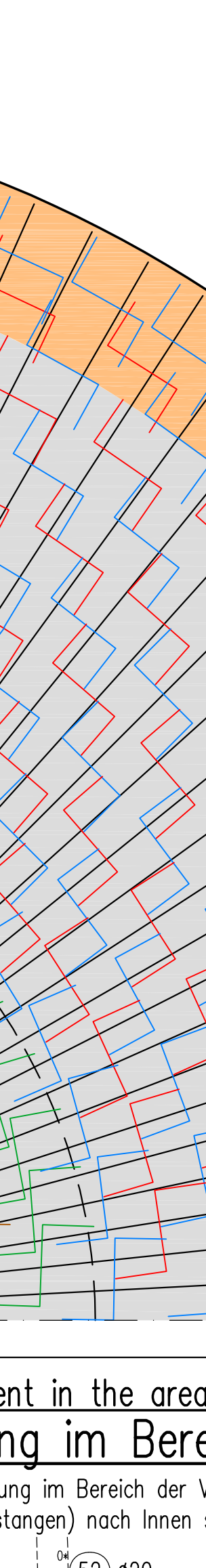
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



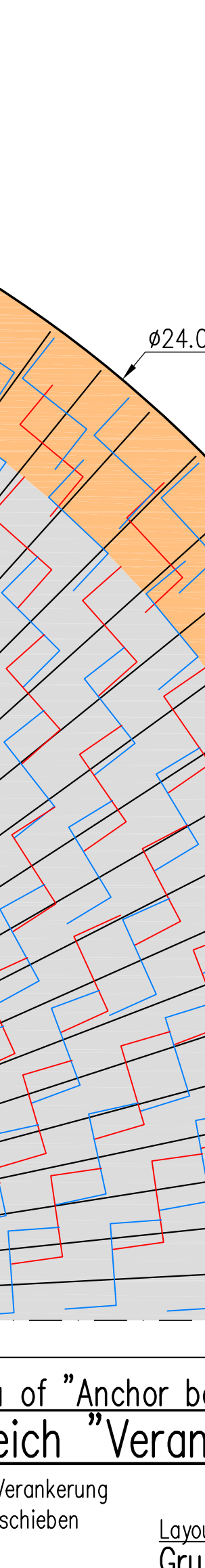
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



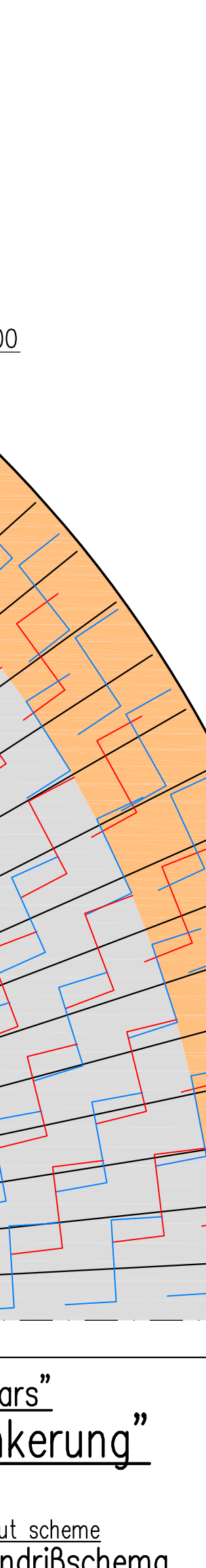
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



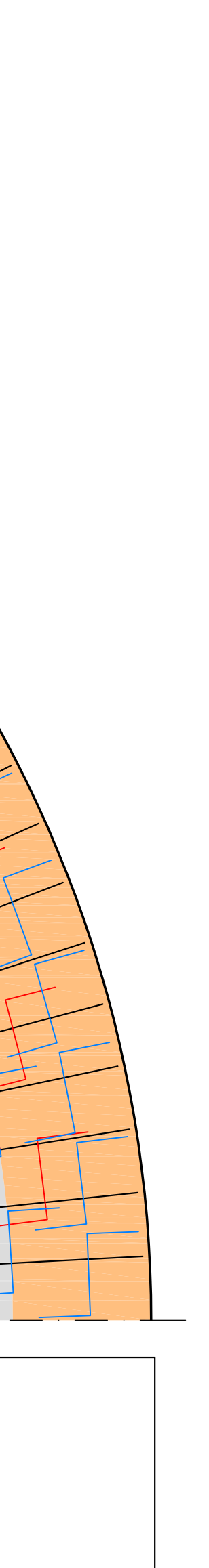
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



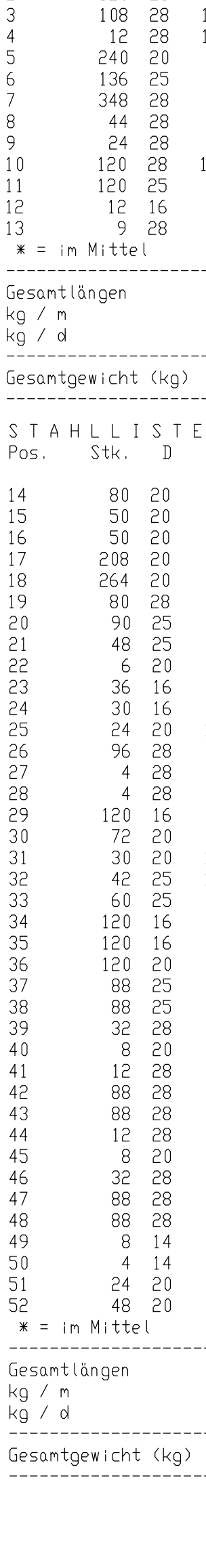
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



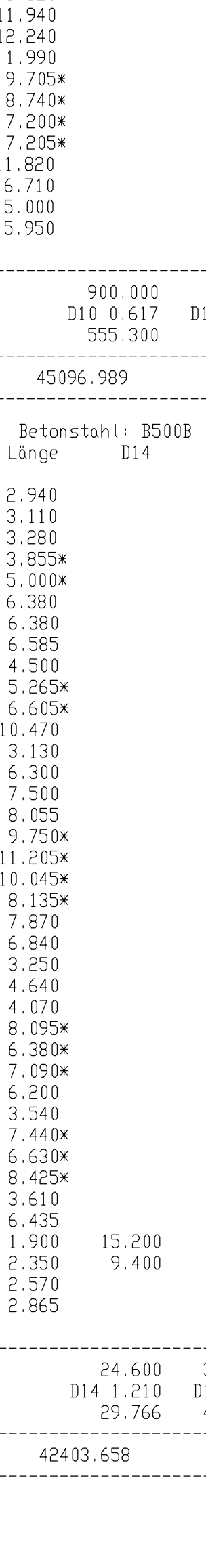
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



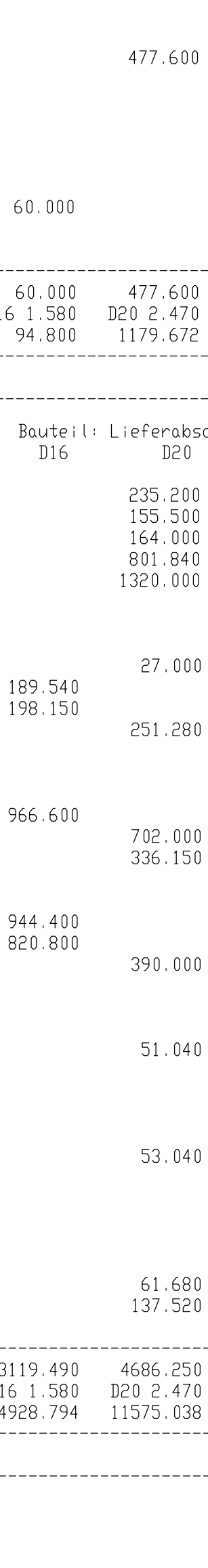
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



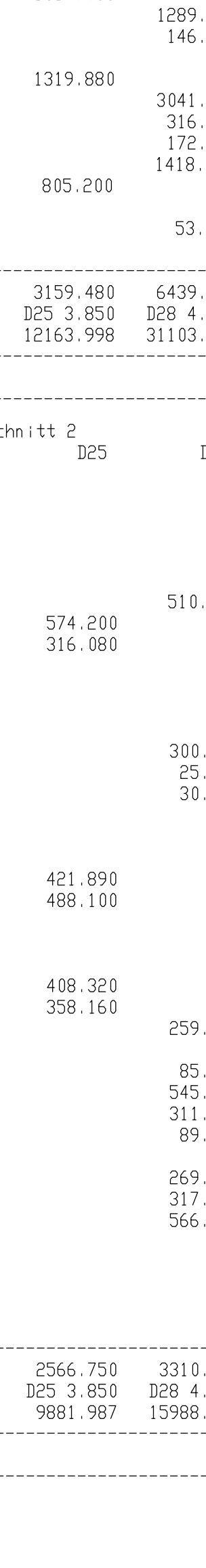
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



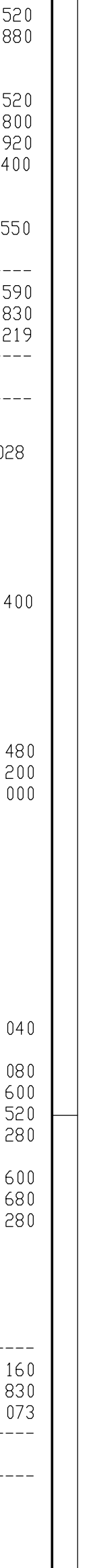
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



Reinforcement in the area of "Anchor bars"
Bewehrung im Bereich "Ankerbalken"
Reinforcement in the area of "Anchor bars"
M 1:50



Verfasser / Author:			 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	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		

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*

Projektnummer / <i>Project number:</i>	21683-E21
Anlagenhersteller / <i>Turbine manufacturer:</i>	Enercon GmbH Dreekamp 5 DE-26605 Aurich
Windenergieanlage / <i>Wind turbine:</i>	Enercon E-160 EP5
Nabenhöhe / <i>Hub height:</i>	166,6 m
Bauteil / <i>Component:</i>	Tiefgründung / <i>Deep foundation</i>
Land / <i>Country:</i>	Deutschland
Verfasser / <i>Author:</i>	Max Bögl Wind AG Max-Bögl-Str. 1 DE-92369 Sengenthal
Enercon Dokumentennr./ Enercon Document no.:	D02567170-0
Datum / <i>Date:</i>	20.01.2022
Revision / <i>Revision:</i>	-

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

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>	Seite/ <i>Page</i> : 1
Block / <i>Chapter</i> : Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 20.01.2022
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridgeturm / 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 Ortbetonrammpfähle / <i>Variant A: pre-cast driven or cast in situ concrete piles</i>	11
5.3 Variante B: Ortbetonrammpfähle / <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:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page: 2
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents	

Verfasser / Author: 			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

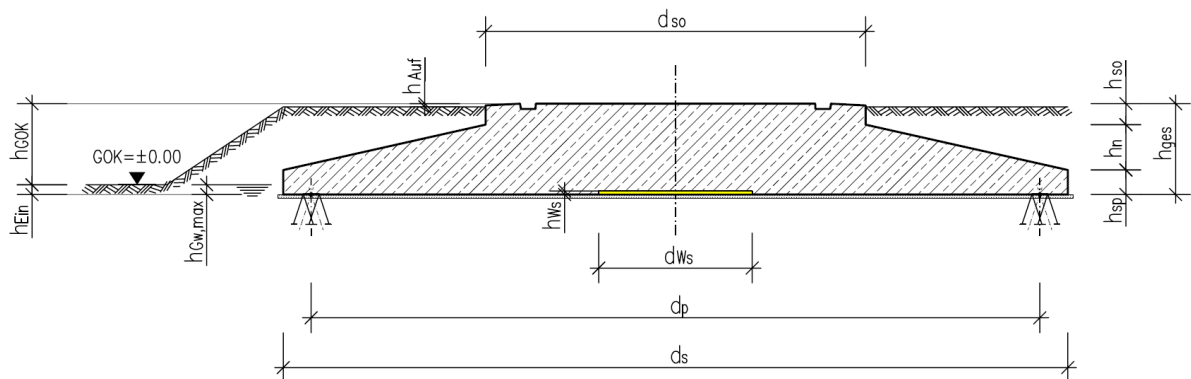
Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page:	3
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General		

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 / Component:	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>	Seite/ Page: 4
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i>	

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

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	Seite/ Page: 5
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions	

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

3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

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

The followings loads were applied in the foundation design.

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

Bauteil / Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page: 6
Block / Chapter: 3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author: 			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

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 / <i>Type pile foundation</i>	Seite/ Page: 7
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>	

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			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>	Seite/ Page:	8
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>		

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	

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 / Component:	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>	Seite/ Page:	9
Block / Chapter:	4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>		

Verfasser / Author: 			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	Seite/ Page:	10
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses		

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		

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	Seite/ Page: 11
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	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}	$\sum F_k$
[-]	[-]	[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}	$\sum F_d$
[-]	[-]	[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 / Component: Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>	Seite/ Page: 12
Block / Chapter: 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	Seite/ Page: 13
Block / Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses	

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

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				

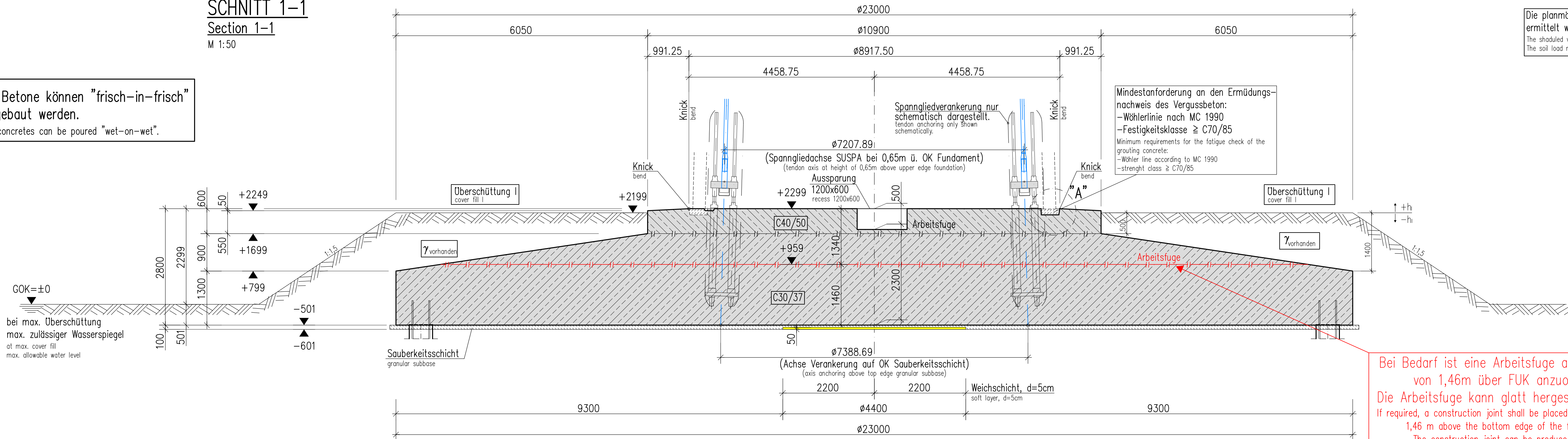
Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page: 14
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses	

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.

erforderliche Erdauflost auf dem Fundamentkörper für Überschüttung l:

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

$A_{\text{Auflost}} = \frac{\pi}{4} \times (23,00^2 - 10,90^2) = 322,2 \text{ m}^2$

$V_{\text{erf}} = 323,3 \text{ m}^3$

$G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 323,3 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ t/m}^3 = 581,9 \text{ t}$

$h_l [\text{m}] = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{erf}}} - V_{\text{erf}} = \frac{581,9 [\text{t}]}{\gamma_{\text{erf}} [\text{t/m}^3]} - 323,3 [\text{m}^3]$

$h_l [\text{m}] = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{erf}}} - V_{\text{erf}} = \frac{581,9 [\text{t}]}{\gamma_{\text{erf}} [\text{t/m}^3]} - 323,3 [\text{m}^3]$

Bei Bedarf ist eine Arbeitsfuge auf der Höhe von 1,46m über FUK anzuordnen.
Die Arbeitsfuge kann glatt hergestellt werden.
The construction joint can be produce smooth.

Volumen Beton:

volume concrete: 805m³

C40/50 = 53m³

C30/37 = 752m³

Gewicht: weight: 20125kN

Leerrohrdurchführung, Einbauteile,

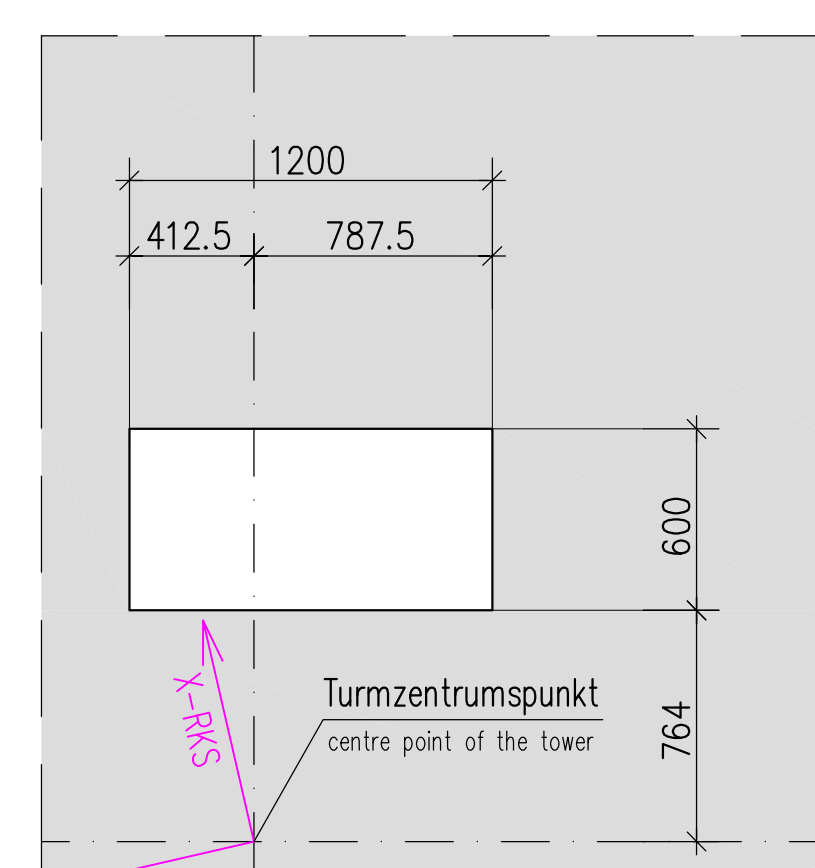
etc. siehe Plan: pipe penetration, installation parts, e.g. see plan:

DE_E21_081_XX_X_Übersicht.

DRAUFSICHT AUSSPARUNG

TOP VIEW RECESS

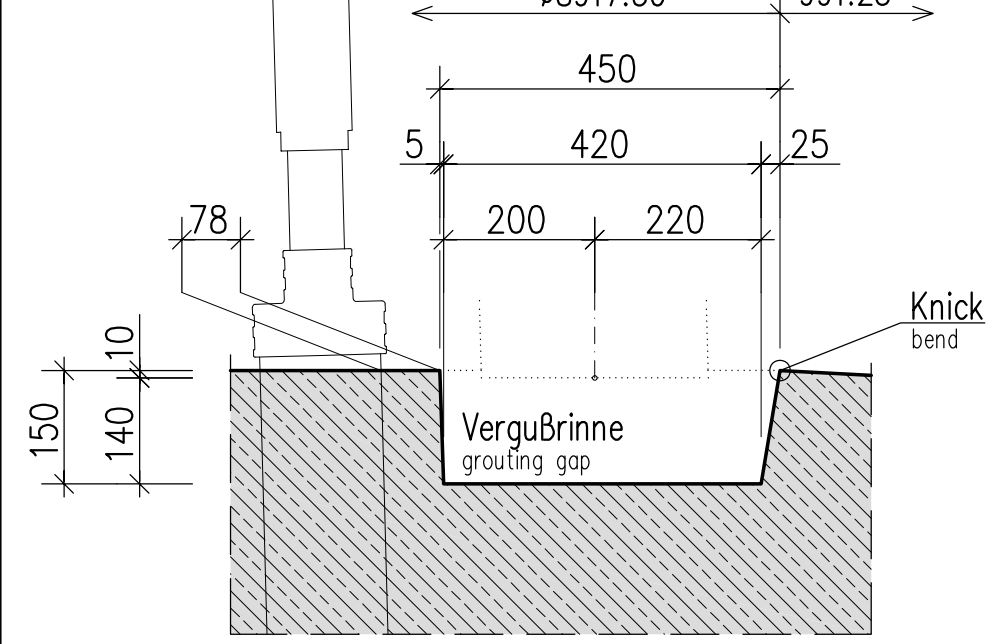
M: 1:25



Detail "A" (VerguBrinne)

Detail "A" (grouting gap)

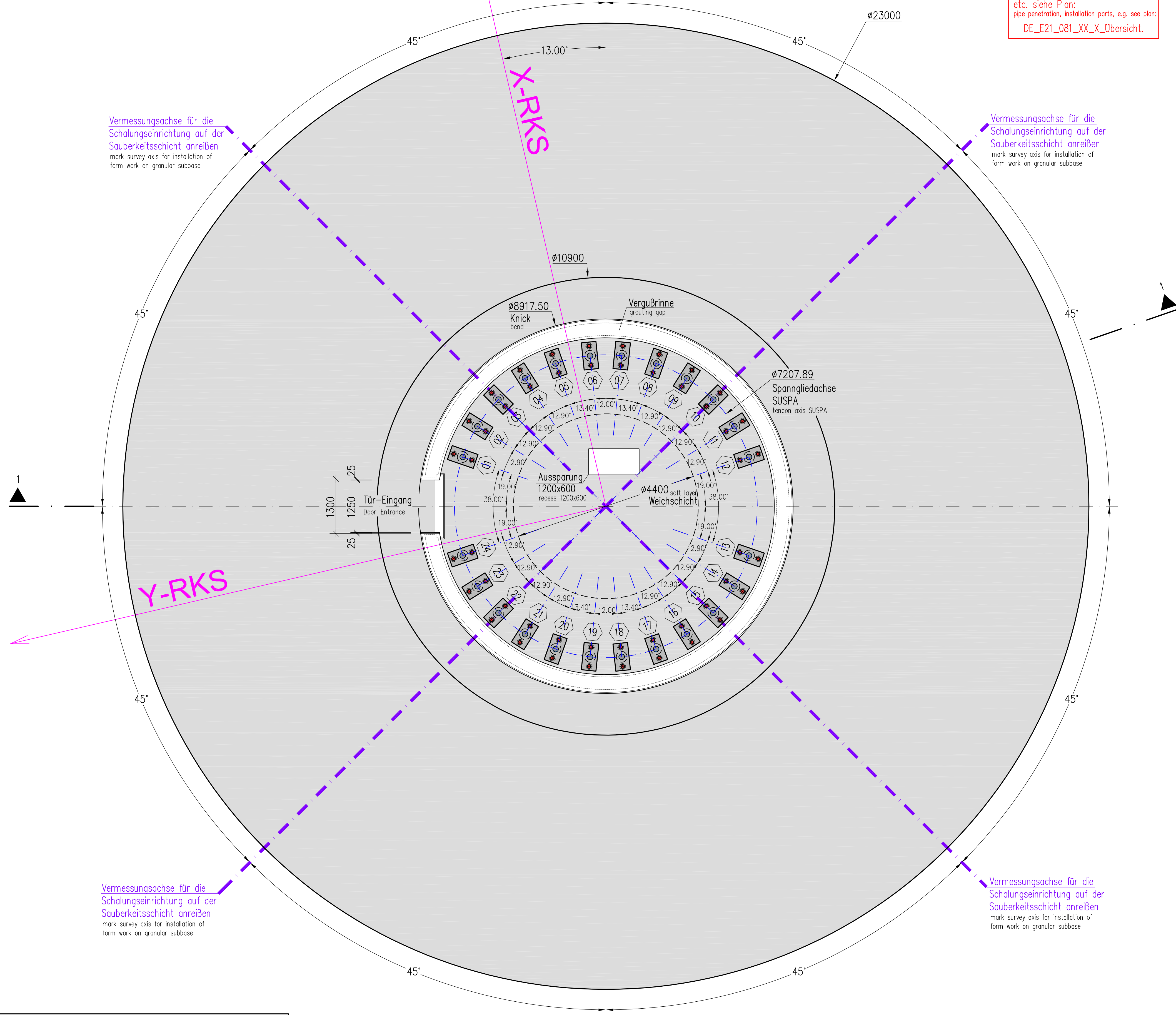
M 1:10



DRAUFSICHT

TOP VIEW

M 1:50



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

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 Erdberührung erforderlich) if there are not higher requirements from the building ground consultant (geologist) (Note: Exposure class XD1 in outside areas without backfill / earth cover)
Fauchtigkeitsklasse: humidity class:	MF
Ausführung: execution:	Massebeton 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 1.1.1, DIN 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670 1.1.1, DIN 1045-3

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

Grundlegende Anforderungen:
Normwert des Gesteinskörnung:
Fundamentkörper 16mm
verbleibender Fundamentkörper 13mm
Klasse des Chloridgehalts: D 0,20
Frischbetontemperatur nach Angabe Bauteiltechnologie
jedoch maximal 30°C

Zusätzliche Anforderungen:
Kriech- und schwindarmen Beton für die Außenbauteile.
Wegen der großen Betondeckung ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbinde- und Schwindwirkung ein Betonwerkstoff einzusetzen.
Probekörper sind gemäß bauteilbezogener Prüfanforderungen zu erstellen.
Fundamentoberfläche nachverdichten.
Fundamentkörper 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 Lieferzusätze zu bestätigen.

Die Nachbehandlungsmaßnahmen sind mit dem Bauteiltechnologen auf der Bauteiltechnologie und der Bauteiltechnologie abzustimmen.

Fundamentanforderungen:
maximal grain size of the aggregate:
foundation cap 16mm
remaining foundation body 13mm
class of the chlorid concentration: D 0,20
Temperature of fresh concrete according to expert for concrete technology but not higher than 30°C

Additional requirements:
Low shrinkage and creep concrete shall be used for outside comp.
An expert on concrete technology has to be consulted to avoid damage due to shrinkage, hydration or possible aggressive components of the ground.
Concrete test-specimens must be produced in accordance to the building-site related inspection plan.
Repress and mechanical abrade the foundation surface.
The earthing of the foundation and the layout of the ducts has to be done according to Enercon.

The contractor is responsible for all dimensions and for the correct setting out of the work on site.
Only figured dimensions are to be used.
Any discrepancies are to be reported to the engineer before proceeding.

All excavations have to be inspected by a qualified engineer.
The composition of the concrete has to be confirmed by the delivery certification.

The after-treatment measures have to be adjusted and written down in consultation with the concrete technology expert according to the concrete properties and weather conditions.

ZUGEHÖRIGE PLANE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR.:	Planbezeichnung
DE_E21_001_XX_X_Übersicht	Übersichtsplan Gesamturm
DE_E21_004_XX_X_Erddung	Erddung für Fundament
DE_E21_010_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament
DE_E21_110_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament
DE_E21_210_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament
DE_E21_081_XX_X_Übersicht	Übersichtsplan Leerrohrstrahl
M578	Spanngliedverankerung 3.0
DE_E21_M012_Montageplan	Absteckung Montagegerahmen

ENERCON Windenergieanlagen
E-160 EPS ES-HT-166-ES-C-01
DIBR 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB

ENERCON wind turbine generator
E-160 EPS ES-HT-166-ES-C-01
DIBR 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIB

Erst:	Dat:	02.09.2021	Boegl-Planbezeichnung
gepr.:	v.:	02.09.2021	Land
Freig.:	Belz:	02.09.2021	DE E21 305 XX X
Bezeichnung:	Bezeichnung:	erstellt:	Datum:



Bauherr:	Max Bögl	Projekt Nr.:	21683
Bauvorhaben:	Windkraftanlage	Start:	.84+1.19m
Bauteile:	Schalplan Fundament #23.00m	Maßstab:	1:50

erst.: Ernst	Dat.: 02.09.2021	Boegl-Planbezeichnung						
gepr.: v. Desen	Dat.: 02.09.2021	Land	Turmtyp	Ringtyp	Segment	Besonderheit	Planart	Index
freig.: Betz	Dat.: 02.09.2021	DE	E21	305	XX	X	Schalplan	d

Die Bauteile sind von einem Fachingenieur zu überwachen.
Die Betonzusammensetzung ist durch entsprechende Lieferzusätze zu bestätigen.
Die Nachbehandlungsmaßnahmen sind mit dem Bauteiltechnologen auf der Bauteiltechnologie und der Bauteiltechnologie abzustimmen.

Softcod-Datenname: DE_E21_305_XX_X_Schalplan

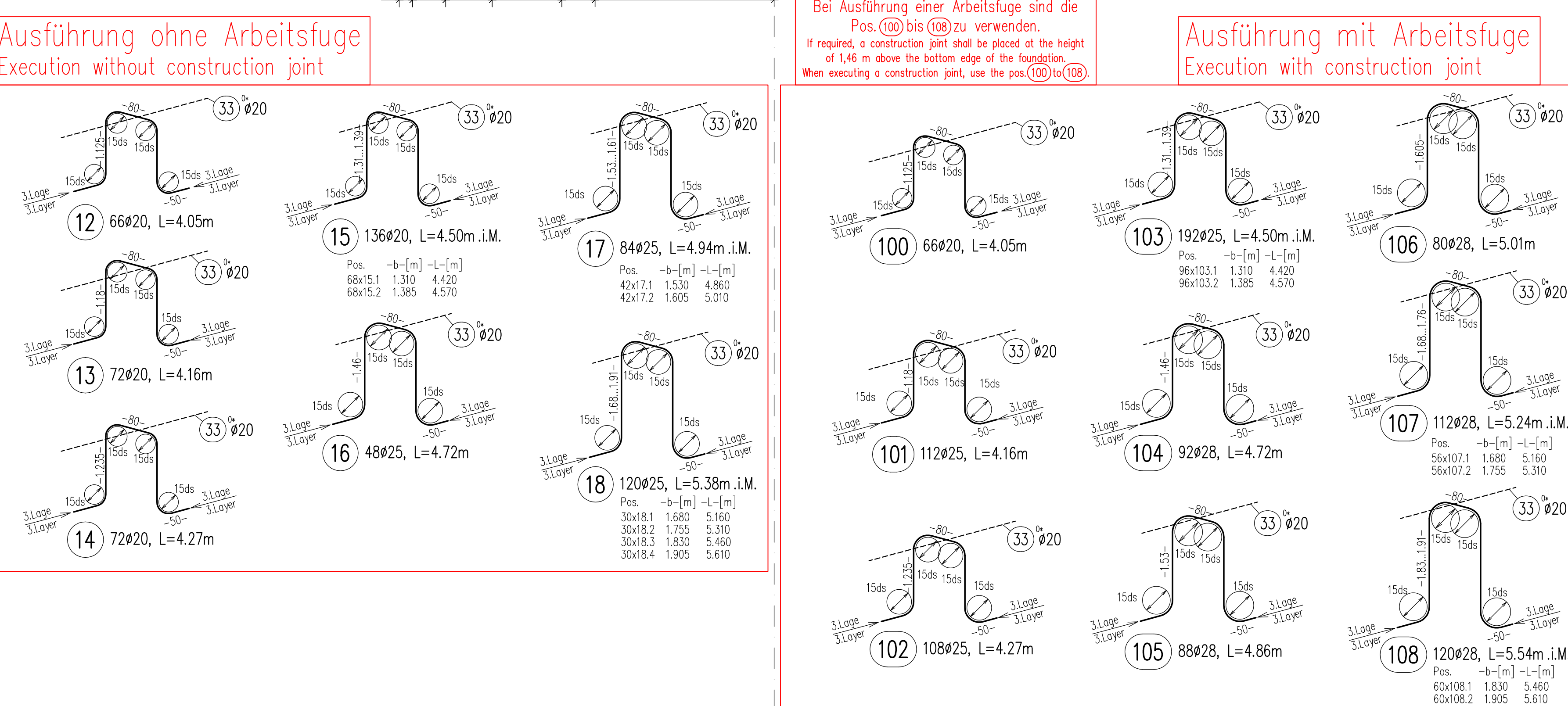
M 1:50

Ausführung mit Arbeitsfuge
Execution with construction joint

M 1:25 schematische

Detail Bewehrung im Türbereich
Detail reinforcement in the area of door

M 1:50

[illegible]

M 1:50

M 1:50

1:50

M 1:50

13

Year	Total Workforce (Millions)	Nonfarm Sector Workforce (Millions)
1970	100	80
1975	110	90
1980	120	100
1985	130	110
1990	140	120
1995	150	130
2000	160	140

Baustoffe Building materials	
letzte Stabstahlposition 108	Betonstahl reinforcement steel B500B

1:50

M 1:50

ZUGEHÖRIGE PLANE	ASSOCIATED DRAWING
Flachentwurf	

01_XC_X_Ubersicht	Übersichtspln Gesamturm	layout complete tower
-------------------	-------------------------	-----------------------

4-XX-X-Erdung	Erdung für Fundament	grounding for foundation
06-XX-X-Schaltplan	Schaltplan Fundament	framework plan foundation

[illegible]

ENERCON Windenergieanlage	ENERCON wind turbine gener
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01

[illegible]

Änderung:	Bezeichnung:	erstellt:	Dat:
-----------	--------------	-----------	------

[illegible]

WILEY
 DISCOVER SOMETHING GREAT

Bauherr:	Max Bögl	216
----------	----------	-----

Bauteile:	Bewehrung Fundament Pfahlgründung	Maßstab: 1:50
-----------	-----------------------------------	------------------

erst.: Erst	Dat.: 06.09.2021	Boegl-Planbezeichnung
-------------	------------------	-----------------------

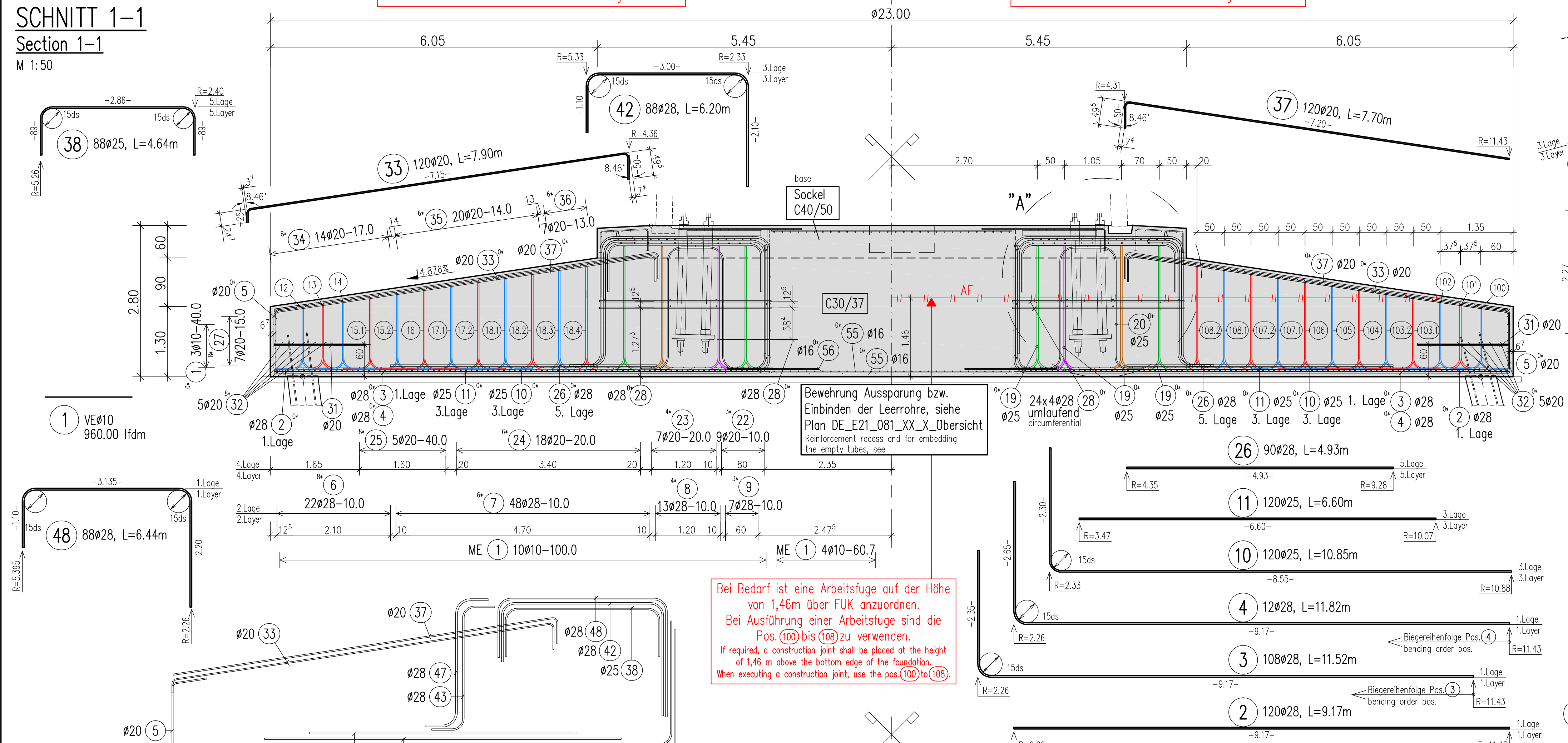
ENERDOM-Planbezeichnung	D02456040-3
-------------------------	-------------

As the User's Sole and Exclusive Licensee: We reserve all copyrights and all other intellectual property rights in this document. Without any prior written and individual permits, documents may neither be reproduced nor disclosed to third parties nor be used in any other way than within the relationship contracted with us. In no event shall the use of this document be necessary other than for the purposes stated in and on the use of service team which comprises that service and

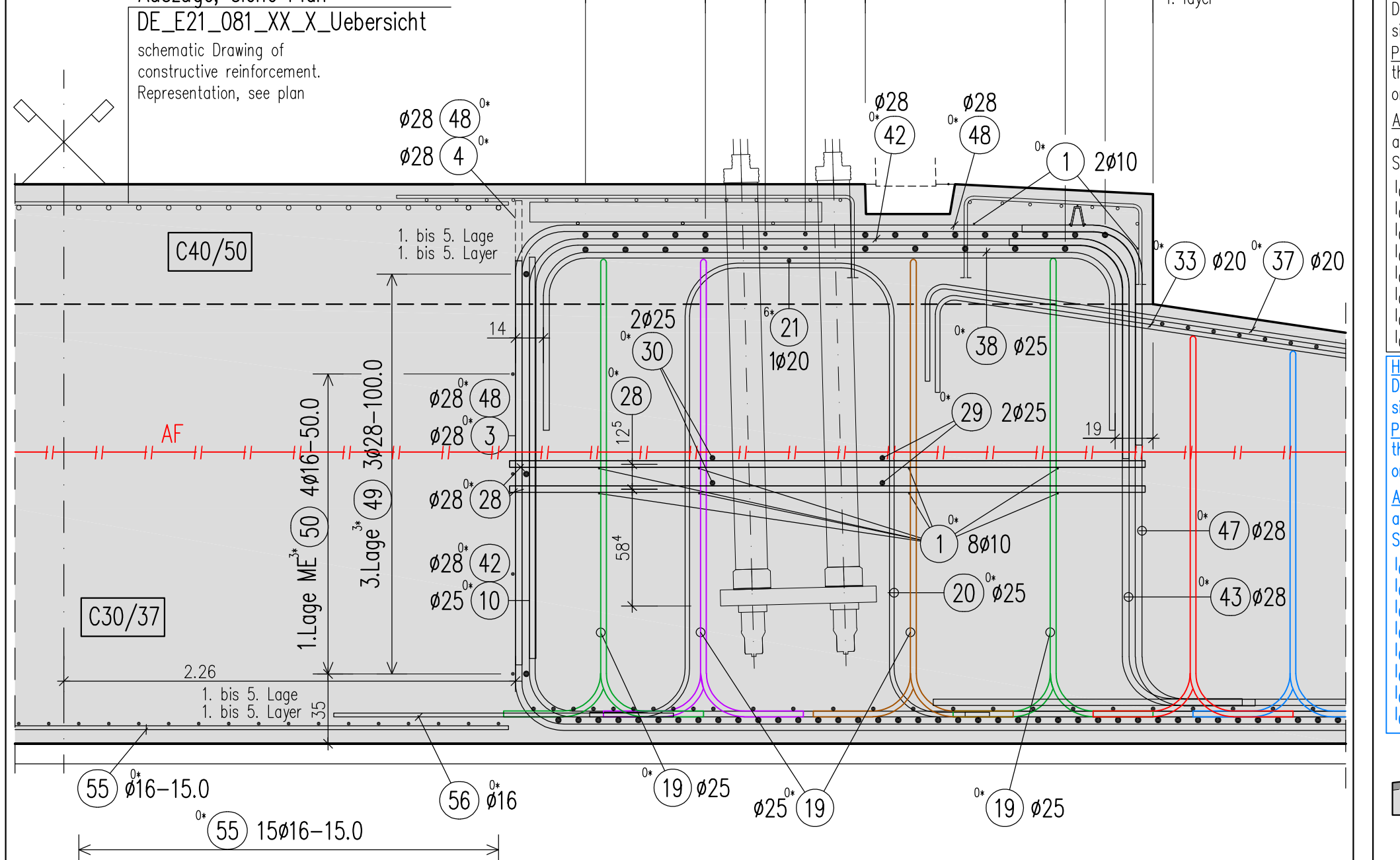
SCHNITT 1-1
Section 1-1

Ausführung ohne Arbeitsfuge
Execution without construction joint

Ausführung mit Arbeitsfuge
Execution with construction joint

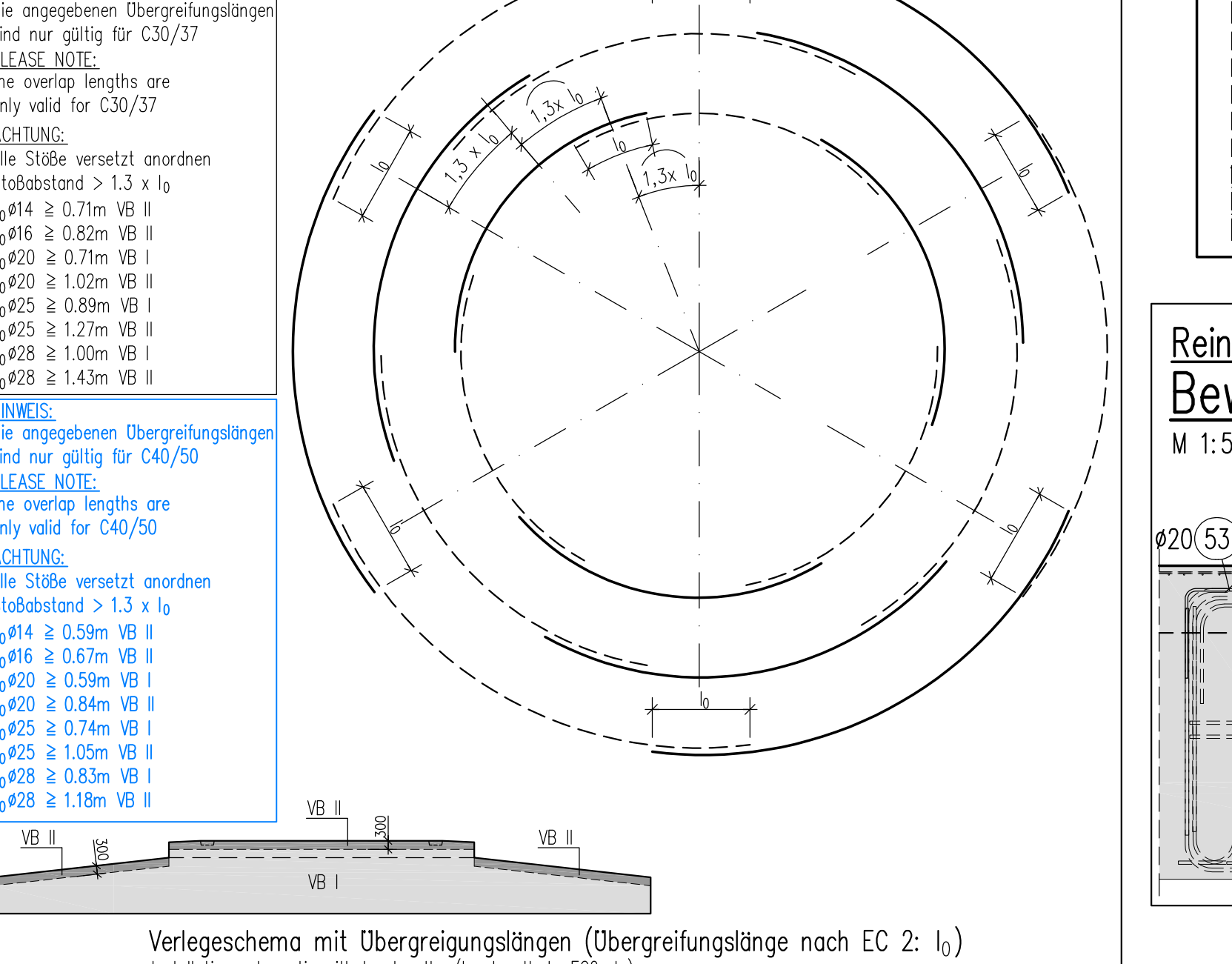


M 1:25	schem der ko Auszu
--------	--------------------------



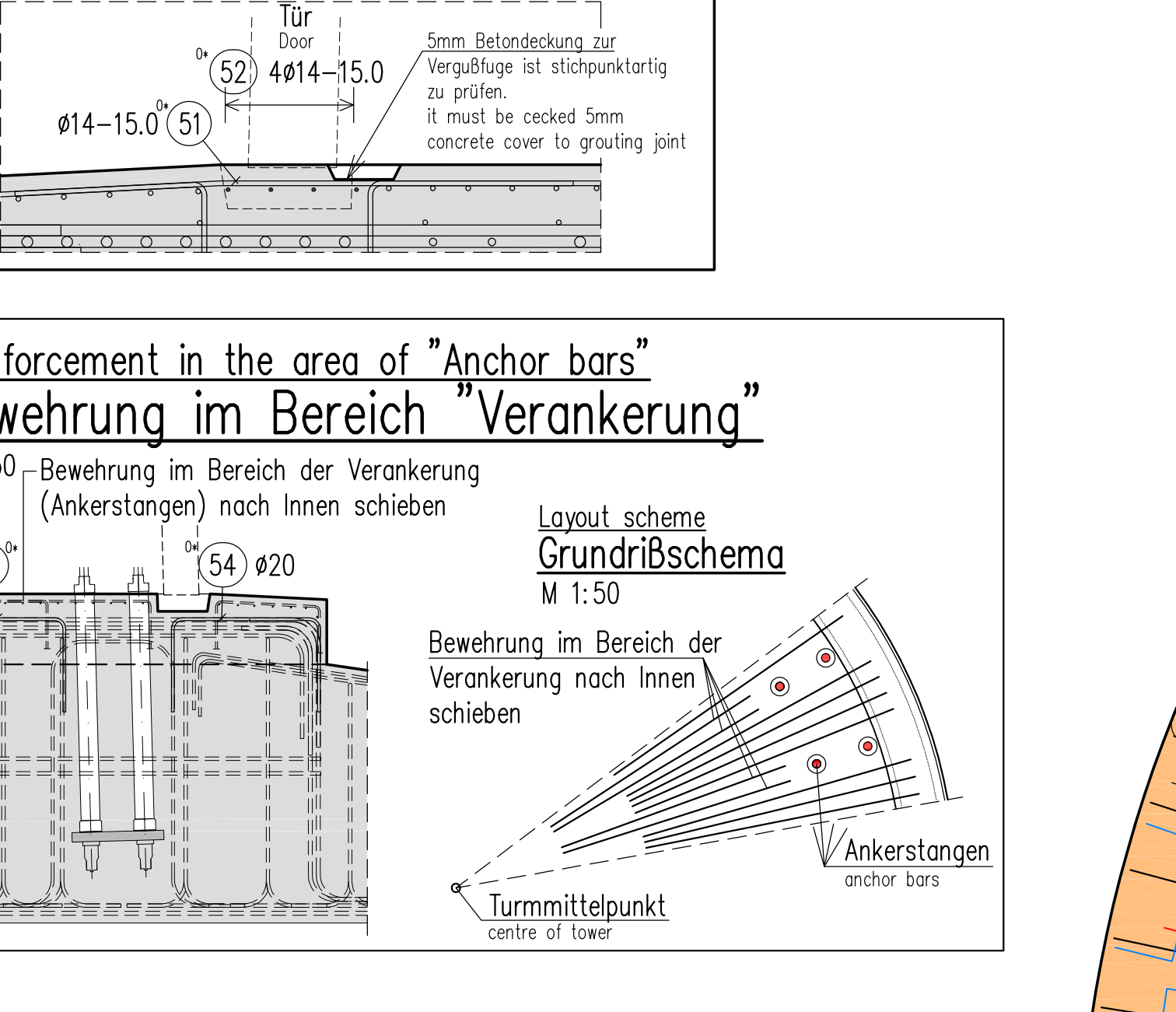
SCHEMA KREISBEWEHRUNG
SCHEME

CIRCULAR REINFORCEMENT

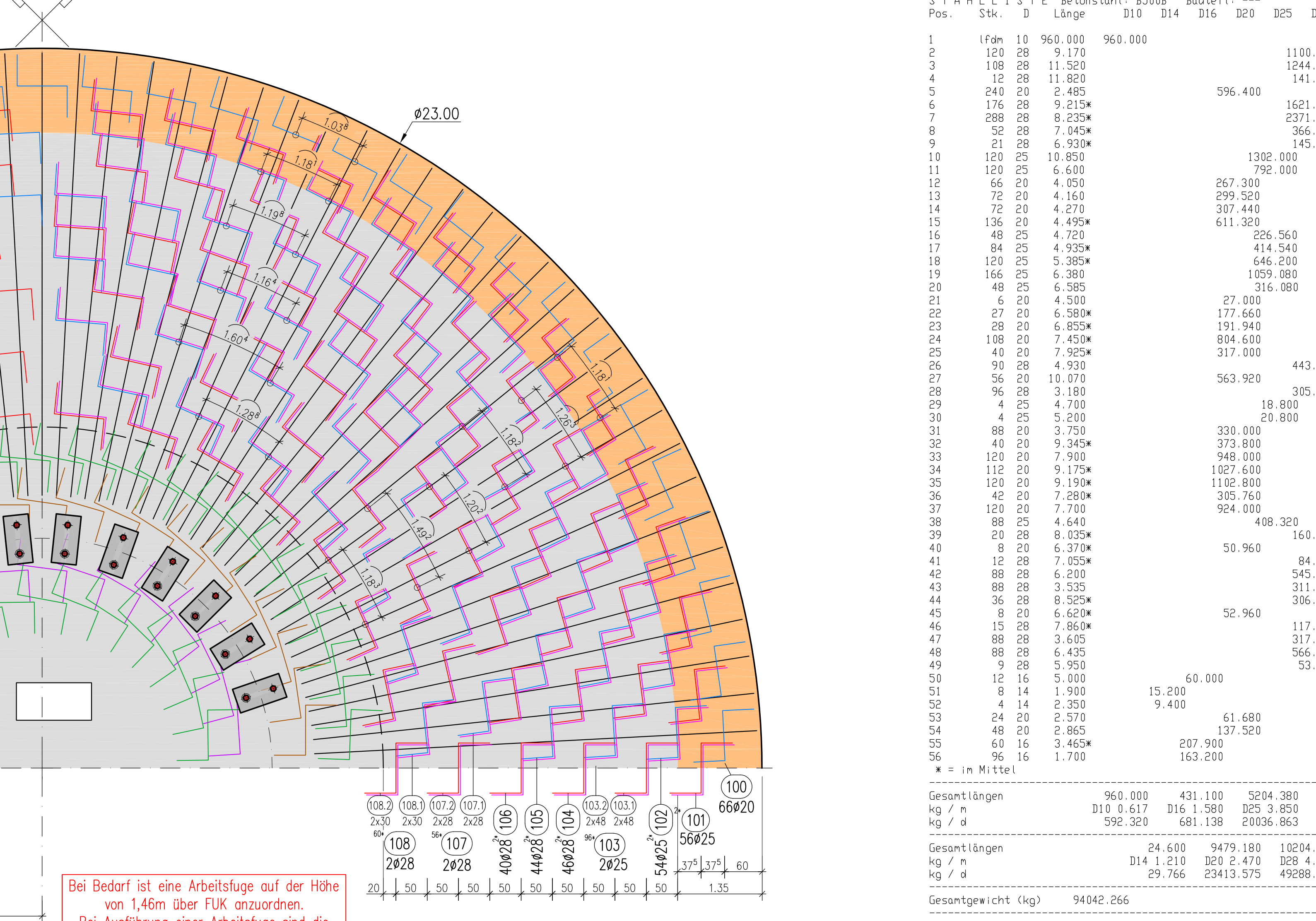
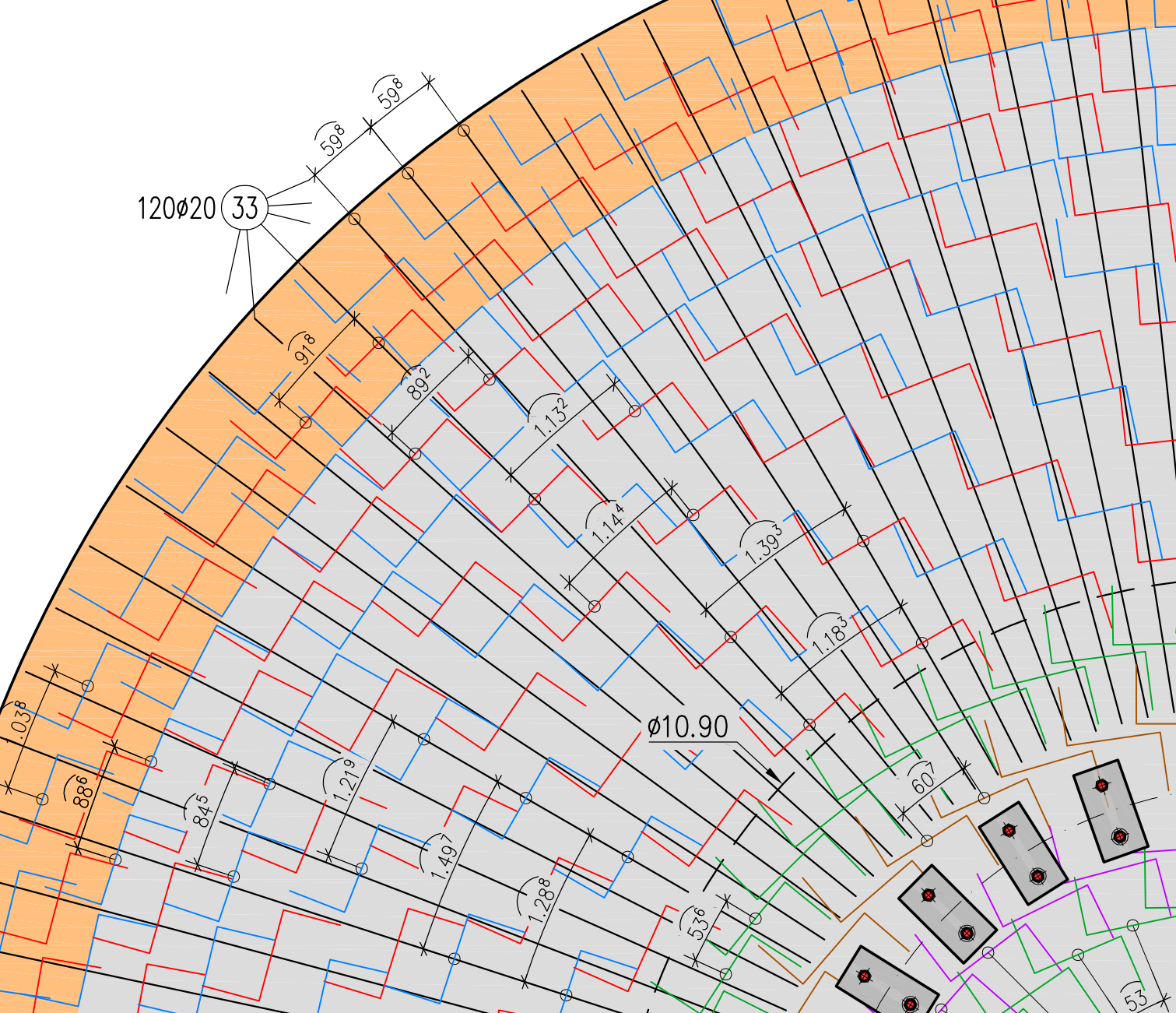


Detail Bewehrung im Türbereich

detail reinforcement in the
1:20

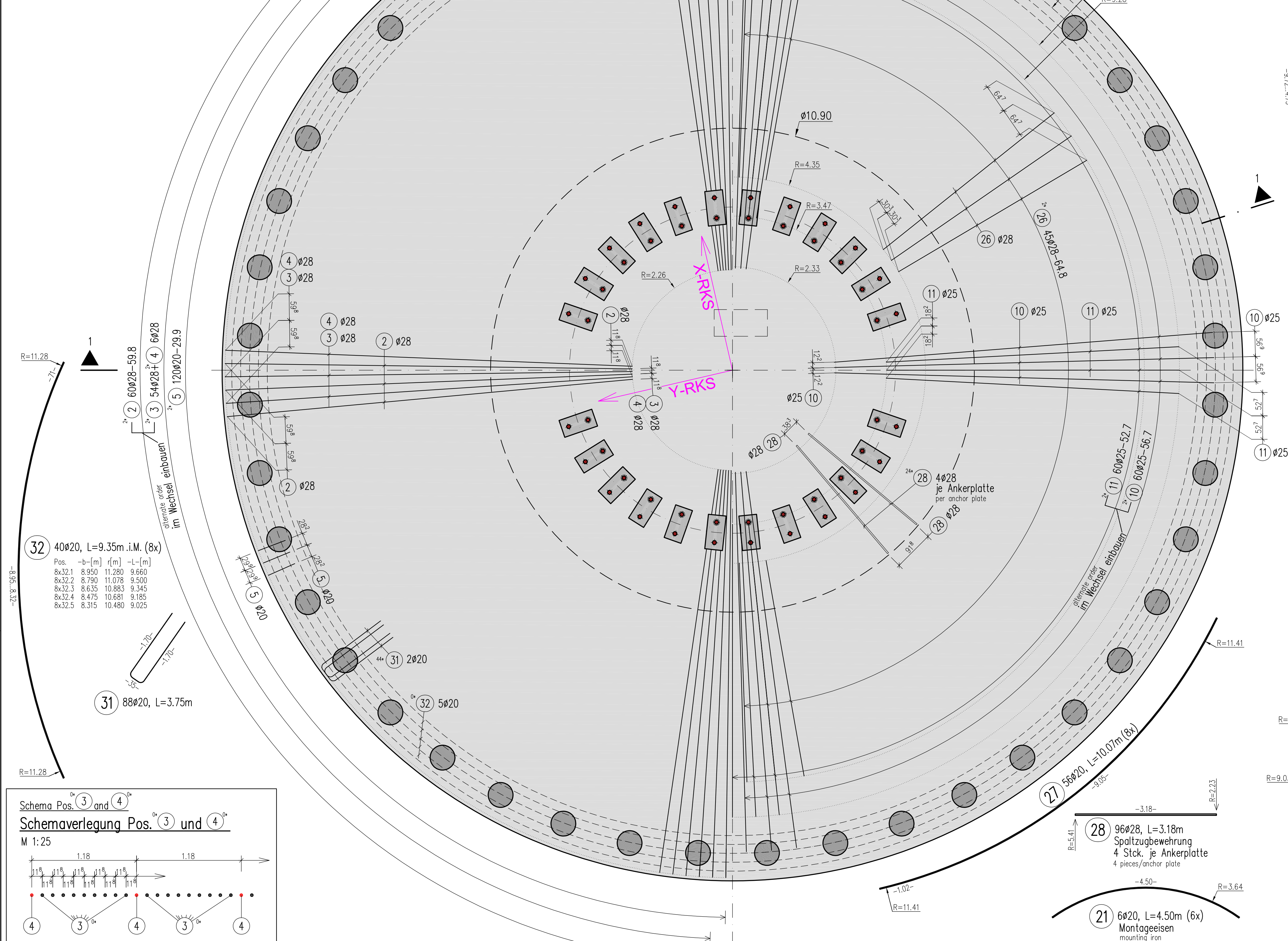


Handhalter + Querkraftbewehrung
+ lateral reinforcement



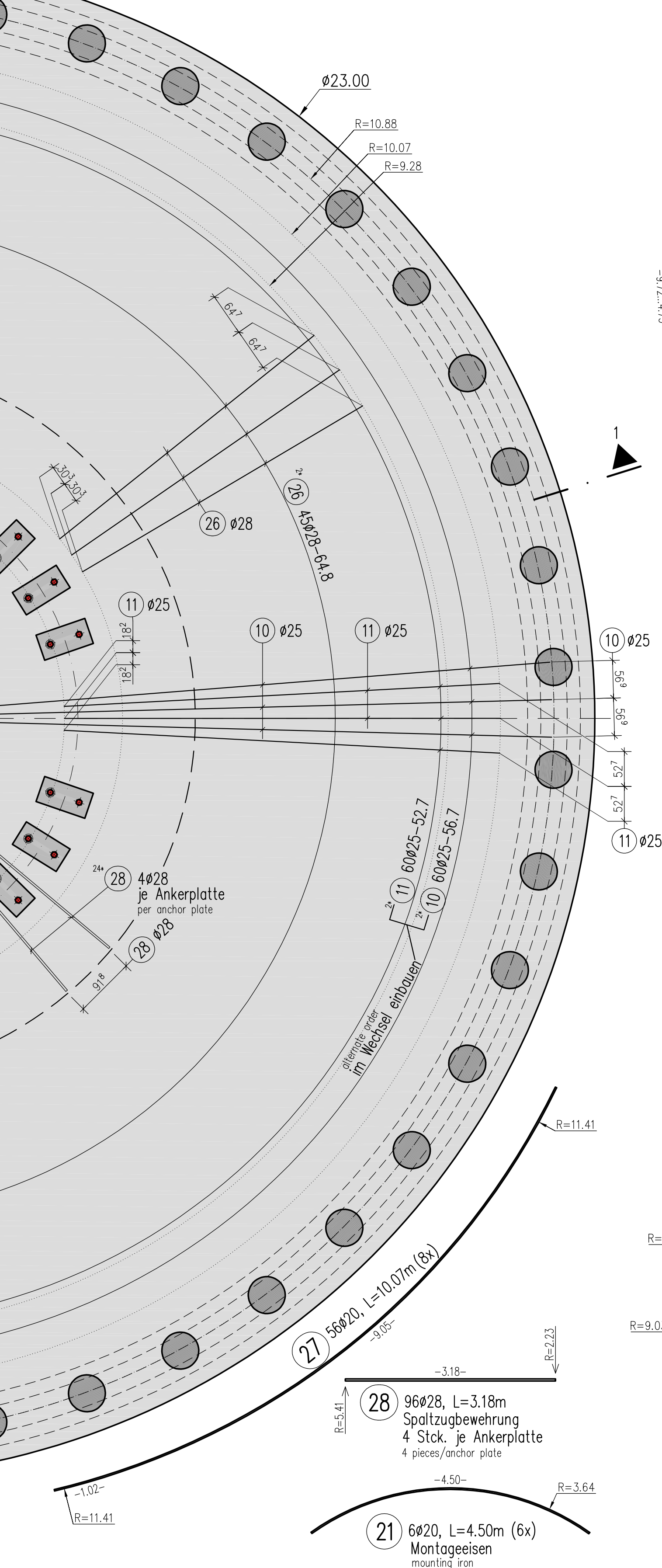
Bewehrung Unten 1.Lage

Reinforcement below 1. layer
M 1:50



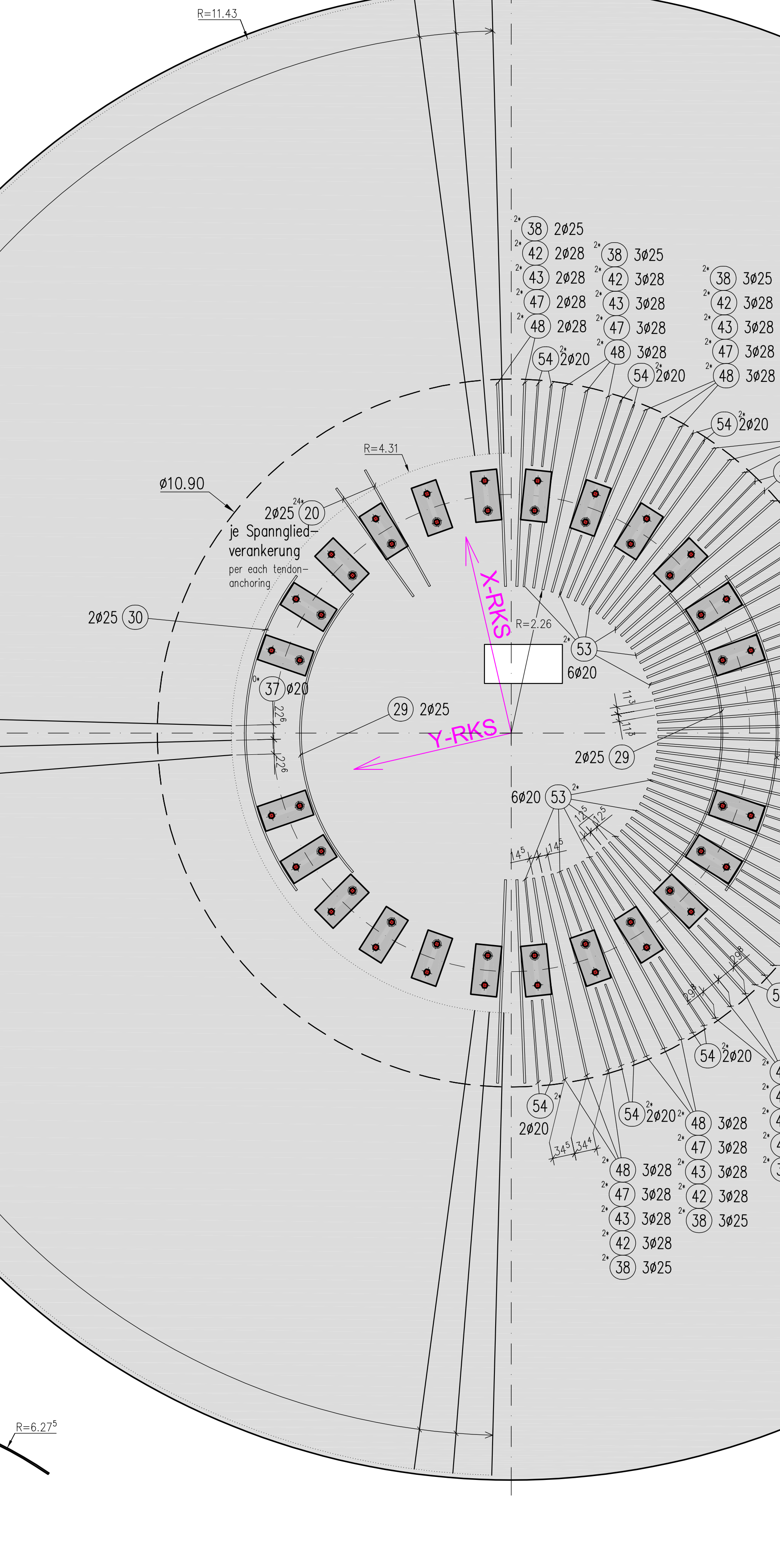
Bewehrung Unten 3.Lage und 5.Lage
Reinforcement below 3.laver and 5.laver

M 1:50



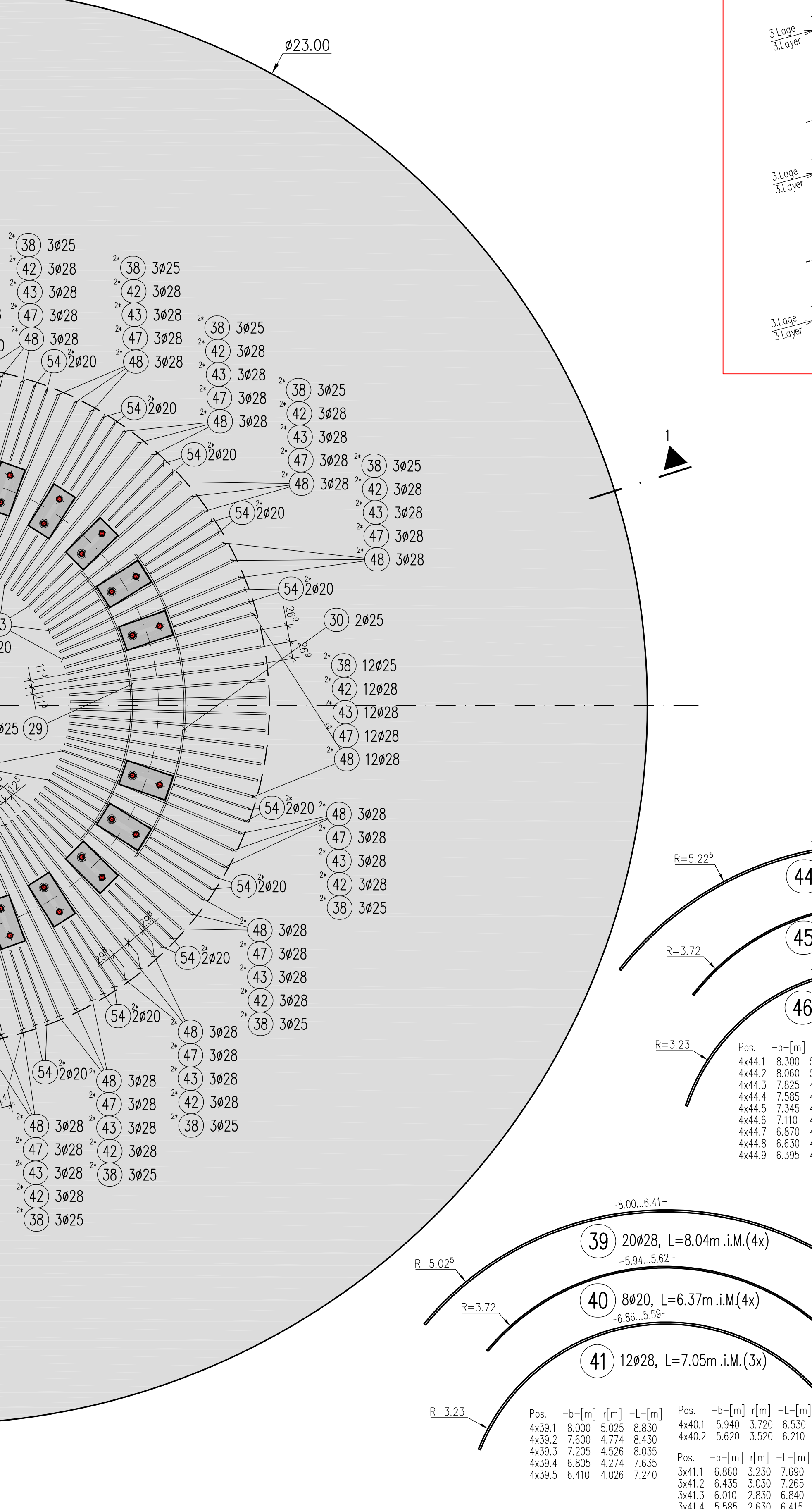
Bewehrung Fundamentschräge Oben

Reinforcement foundation inclination above
M 1:50




Bewehrung Sockel Oben 1. bis 5. Lage
Reinforcement base above 1. to 5. layer

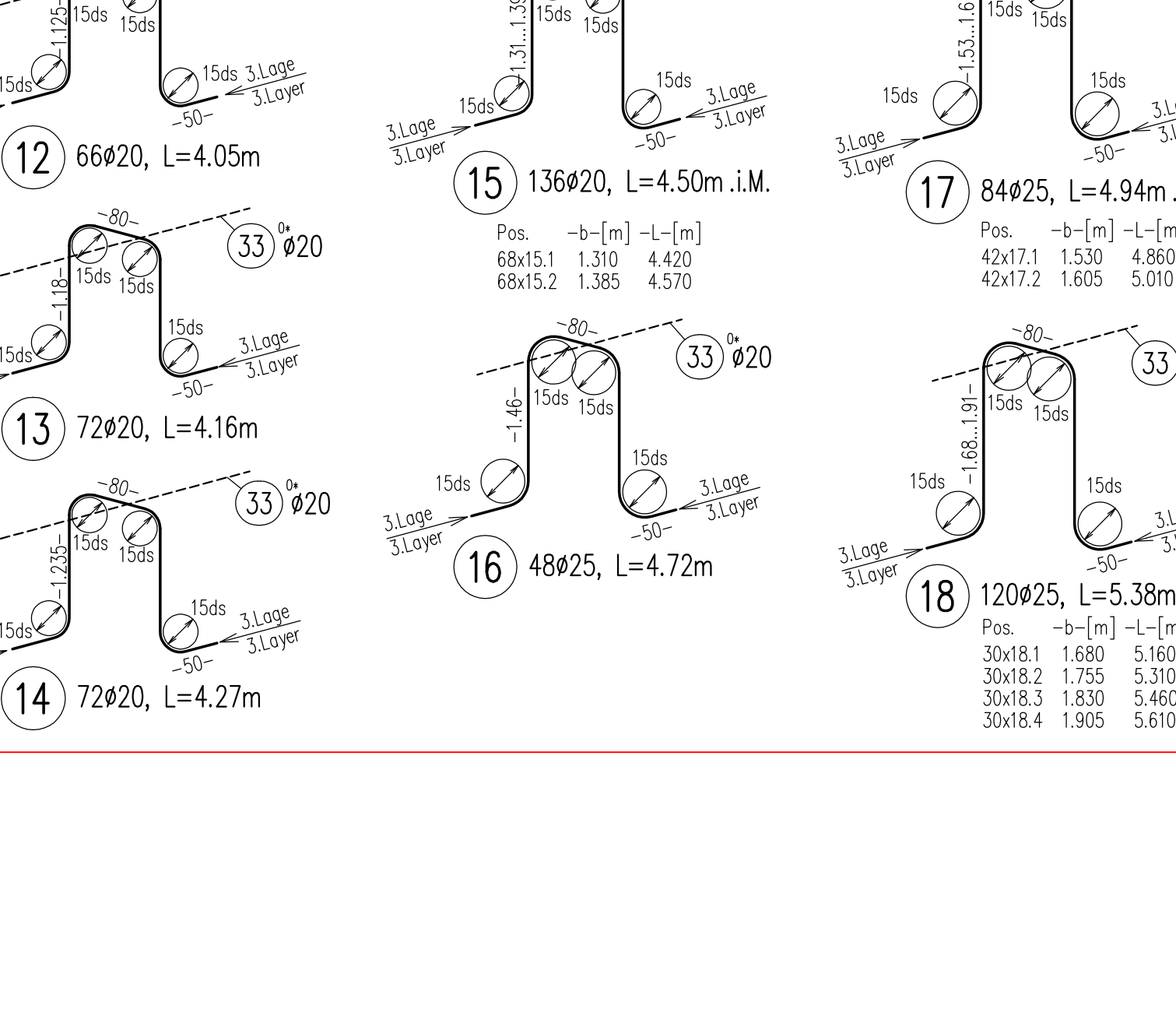
reinforcement base above 1. to 3. layer
M 1:50



hrung ohne Arbeitsfuge
on without construction joint

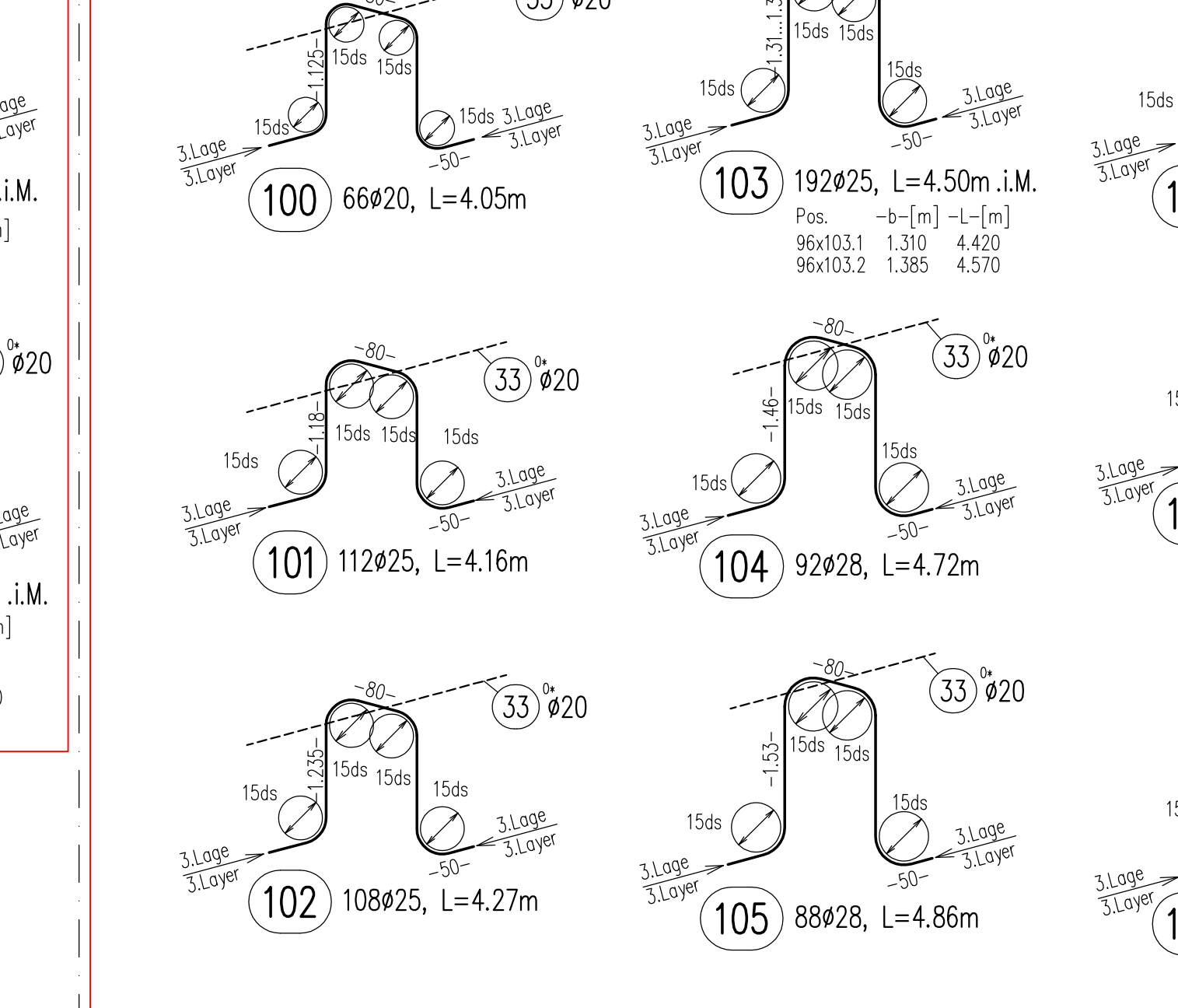


Detail of reinforcement at column edge. A circular cross-section of a column is shown with a vertical section line. A reinforcement bar is shown passing through the column, with a label (33) Ø20 indicating its diameter and quantity. The bar is bent at an angle of 90 degrees at the edge of the column.

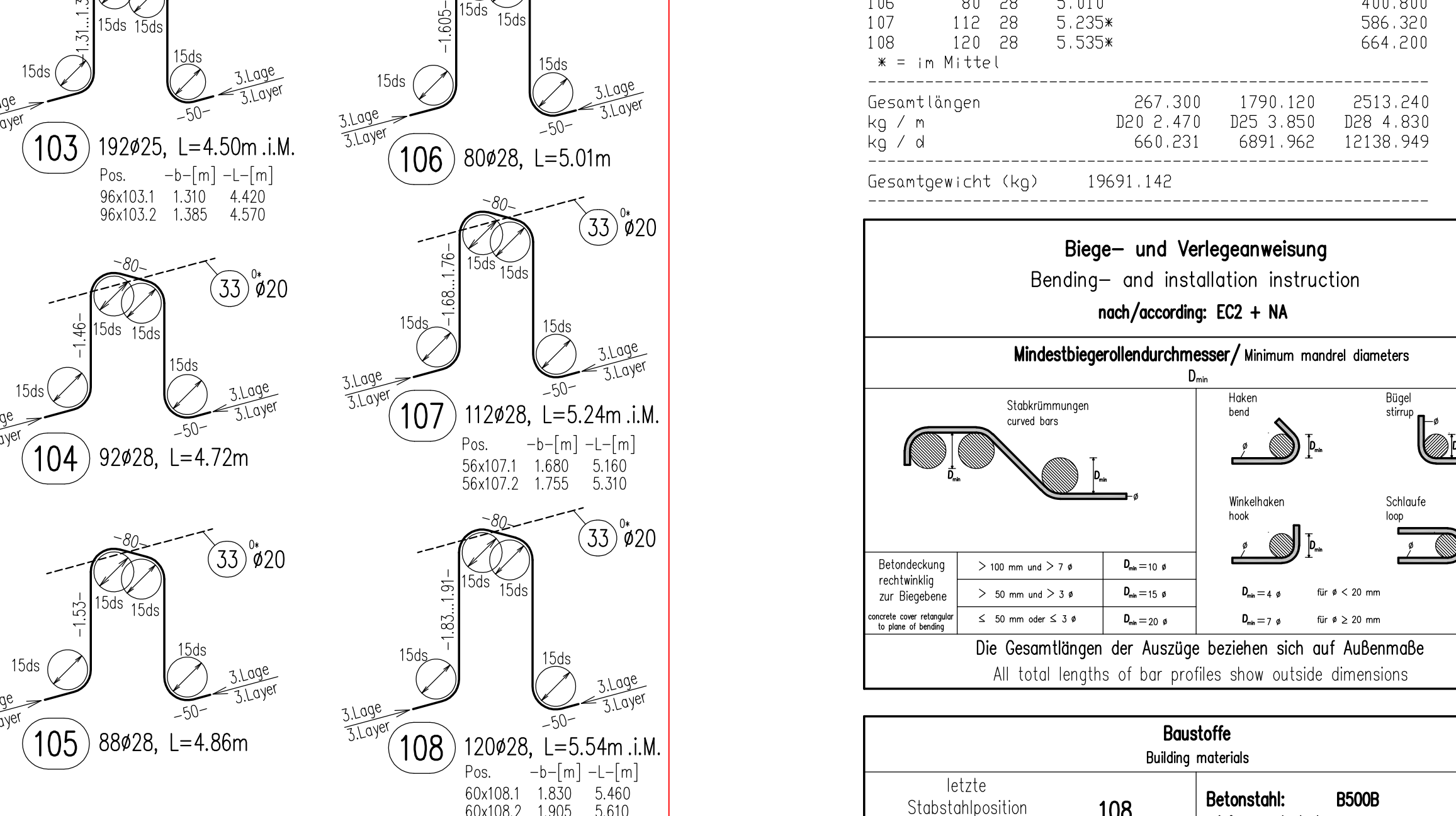


If required, a construction joint shall be placed at the height of 1,46 m above the bottom edge of the foundation.

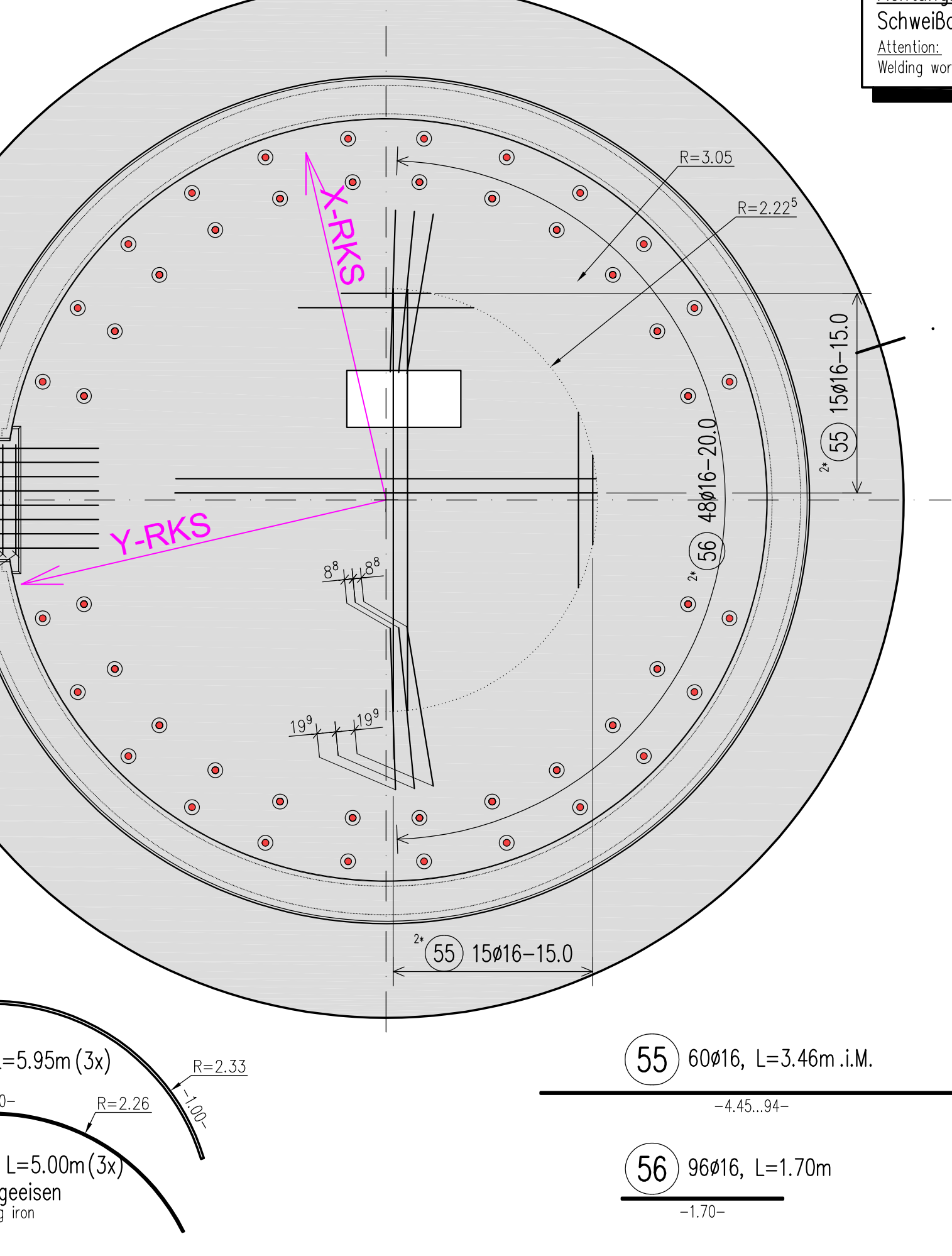
When executing a construction joint, use the pos. 100 to 100



Ausführung mit Arbeitsfuge
Execution with construction joint



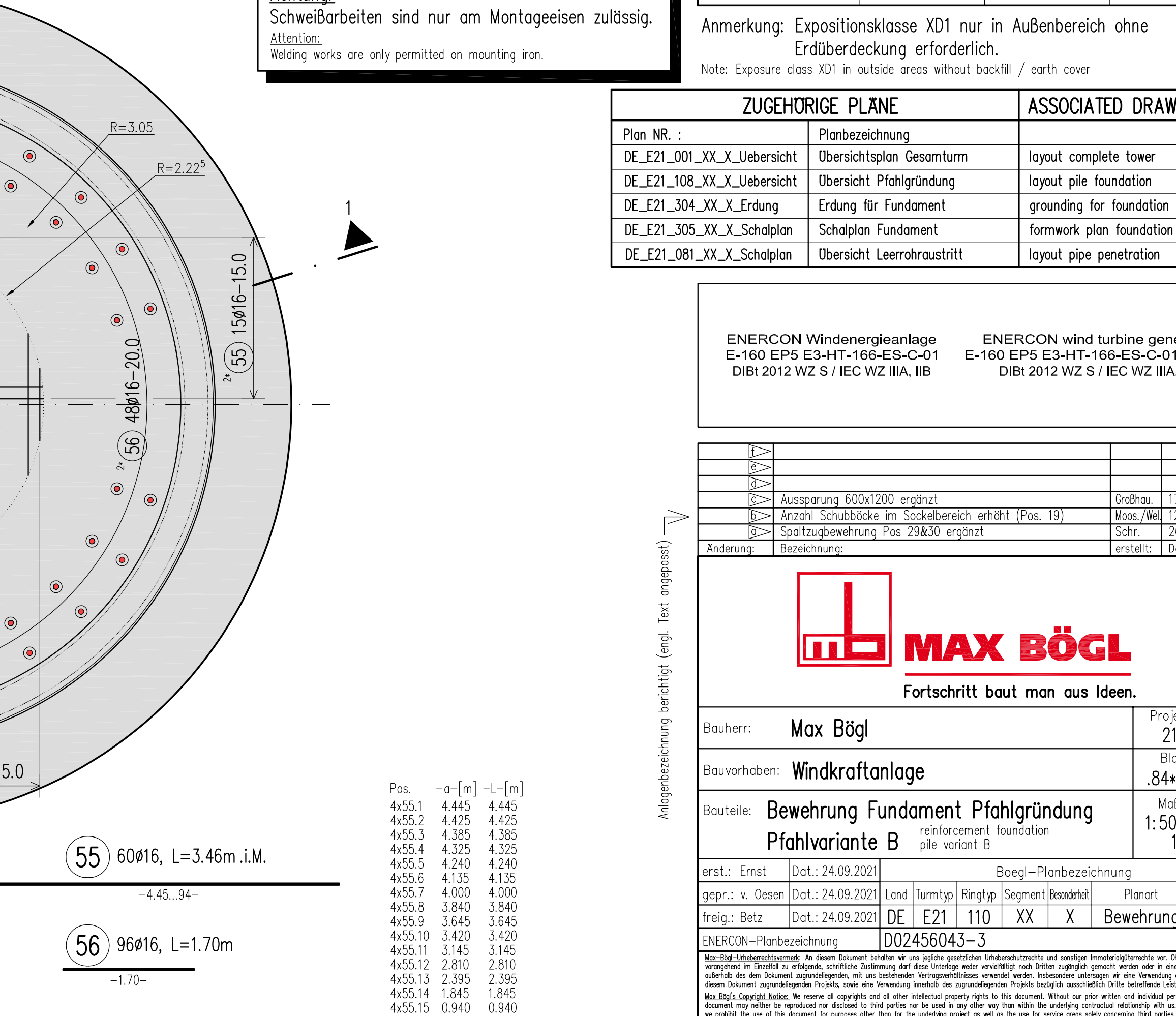
<u>Fundamentkopf</u>		<u>Be</u>
foundation cap		Rein

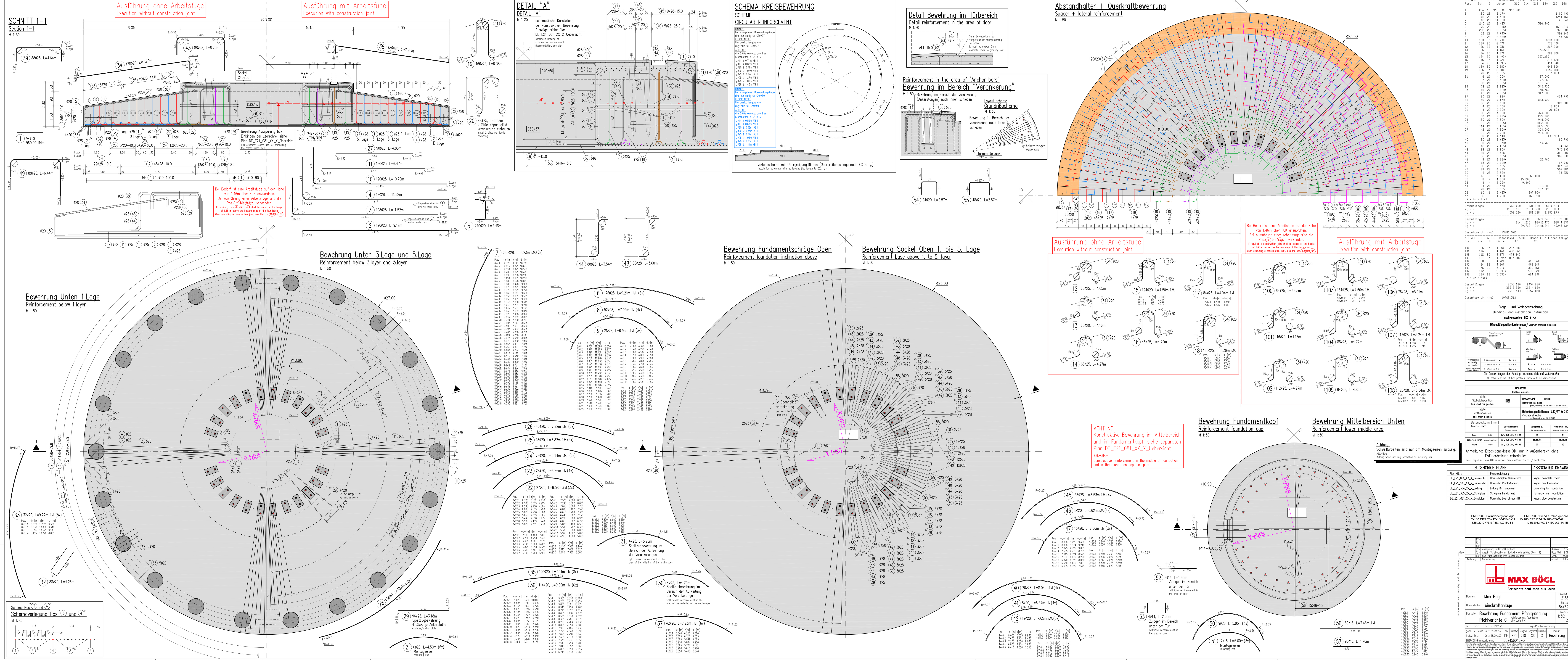


wehrung Mittelbereich Unten
enforcement lower middle area

50

Achtung:





Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-160 EP5 E3

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 616 205 D Rev. 1

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:	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
1	07.02.2023	Revisionen einzelner Berichte eingefügt, formale Berichts-Updates	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. 2, vom 19.12.2022
- [1.1.2] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P,
verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 201 822-1 D IV
Rev. 2, vom 19.12.2022

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. 1, vom 11.10.2022

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. 9, vom 18.01.2023

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. 6, vom 06.01.2023

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. 3, vom 02.02.2023

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. 3, vom 02.02.2023

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.2

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 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
2	19.12.2022	Änderung der Konfiguration auf 9.6 rpm Variante, formale Berichts-Updates Angebotsnummer: 2021-0042N Pos 2.2c	Simon Wiedemann

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen	4
3	Einleitung	4
4	Beschreibung der Windenergieanlage	5
4.1	Klimatische Verhältnisse und 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.....	12
7	Offene Punkte	12
8	Zusammenfassung	12

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, Envelope of 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
Rev. 6, Datum: 16.11.2022

1.2 Dazugehörige Dokumente

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Zeitreihen, Windfelder, Controller (elektronisch erhalten),
Dateiname sentto_TÜV-N_20221005_E-160_EP5-HT166_AZO.zip
Eingangsdatum: 10.2022
- [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
Rev. 1, Datum: 14.11.2022
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Lastfallbeschreibung E-160 EP5 E3,
“D1004865_6.0_de_Technical report_Loadcase description EP5”
Dokument-Nr.: D1004865
Rev. 6, 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
Rev. 0.4, Datum: 22.06.2021
- [1.2.5] 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
Rev. 5.0, Datum: 01.12.2022

[1.2.6] ENERCON GmbH:
Bladed Projektdatei
Dateiname: powprod.\$PJ (IIIA 1.2q_s2011303), powprod.\$PJ (IIIA 1.2q_w2011303), powprod.\$PJ (IIIA_6p 1.2q_w2011303)
(MD5-Prüfsumme: a8a7bfb6f20d8e4a8f7fc88dcab31cb, b0abcc4ebe107ebafa90cf48f297e4d4 and df012721152803093b6155850de9a1e2)

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. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde die berechnete Konfiguration aktualisiert. Die Solldrehzahl beträgt nun 9.6 rpm.

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.

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:

- GenB anstatt des im Berechnungsmodell verwendeten GenC Blatt (siehe [1.2.5]).
- 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 Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen

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

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
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 bzgl. Eisansatz	7 Tage/Jahr Betrieb mit vereisten Blättern Eisklasse IC gemäß DIBt [2.1] - [2.2] und IEC ed.4 Vereisungsklima [2.3]
Netzausfälle	20 Ausfälle/Jahr
Annahmen zur Netzstützung bei Spannungseinbruch	nicht berücksichtigt (Chopper für Events bis 2 Sekunden)
Auslegungslebensdauer	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	5560 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)	24413 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	593141 kgm
Blattanbauten	Serrations, T-Spoilers, Vortex Generators
Nominaler Rotordurchmesser	160.024 m
Rotordurchmesser (inkl. Konus)	159.415 m
Rotorachsneigung	6°
Rotor-Konuswinkel	5° upwind
Rotornennndrehzahl n_r	9.6 U/min
Rotorsolldrehzahl n_s^2	9.6 U/min

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4.4 – 10.98 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
Reglerfunktionen	Sturmabschaltung, Turm Schwingsüberwachung (EP5-CS-03)
Identifikationsnummer: Anlage	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01 9.6 rpm

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

	Dateiname
Rotorblattstruktur	Siehe [1.2.6]
Aerodynamische Profile	Siehe [1.2.6]
Turmstruktur	Siehe [1.2.6]
Controller	DLL-Controller: Regler.dll MD5-Prüfsumme: 46afb15612e531375a0a61ea05248fad Controller Input: EP5_E160_E3_E- 160_EP5_E3_HT_166_FB_C_01_0.5.36.0.Daten MD5-Prüfsumme: 1416be1c5b803ae45514d8bd66993d25

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

Massenexzentrizität des Rotors	1206.5 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
--------------------------------	-------

³ Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

Horizontale Drehfeder: $k_{\phi, \text{dyn}}$	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	0.174 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.957 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.173 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.853 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.179 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.027 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.178 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.906 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.183 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	1.048 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.182 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	0.921 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 Übereinstimmung des Anlagenverhaltens während der Simulation mit dem in [1.1.1] dokumentierten Regelungskonzept der Anlage wurde überprüft.

Die Übertragbarkeit der Lasten vom GenC auf das GenB wurde basierend auf den in [1.2.5] gegebenen Blatteigenschaften auf Plausibilität geprüft.

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.

Die in 1.1 dargestellte Übertragbarkeit konnte durch eine unabhängige Plausibilitätsprüfung 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 Berechnungskoordinatensystemen 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.

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 Offene Punkte

Keine.

8 Zusammenfassung

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 mit 9.6 rpm), beschrieben in den Kapiteln 3, 4 und 5, sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Kapitel 6 sowie der offenen Punkte in Punkt 7 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:



Dipl.-Ing. Nadine Scharlaug

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.

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, verschiedene NH
DIBt WZ S, GK S**

- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV Rev.2

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, Rotorblatt LM 78.3 P, verschiedene Nabenhöhen, bezüglich der DIBt (2012) Windzone S, Geländekategorie S

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	29.10.2021	Erste Fassung	Nils Kägeler
1	09.08.2022	HST-120m und ST-99m Türme hinzugefügt, Referenzen angepasst	Tim Kaczynski
2	19.12.2022	HT-166 Turm mit neuer Variante (9.6 rpm) aktualisiert, Referenzen angepasst, formale Berichts-Updates Angebotsnummer: 2021-0042N Pos 2.4a	Simon Wiedemann

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen	4
3	Einleitung	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage	6
4.1	Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen	6
4.2	Sicherheitsklasse	8
4.3	Beschreibung des Anlagenmodells	8
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	11
5.3	Prüfergebnis.....	11
5.4	Schnittstellen.....	11
6	Auflagen.....	13
7	Offene Punkte	13
8	Zusammenfassung	13

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
Rev. 5.1, Datum: 16.11.2022

[1.1.2] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Rotorblattlasten,
"Load report, Rotor blade LM783P_2p, Covering operating and extreme loads
for the Rotor blade LM78.3P_2P with Machine E-160 EP5 E3 as per DIBt and
IEC"
Dokument-Nr.: D02463292
Rev. 5.0, Datum: 01.12.2022

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

[1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis,
„Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations“
Document No.: D02274524 (ehemals M00-C2-30-10480)
Rev. 3.0, Datum: 29.03.2022

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. 2, Datum: 19.12.2022

[1.2.3] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01,
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P,
NH 119.99 m (E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01) DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D V
Rev. 0, Datum: 10.06.2022

[1.2.4] TÜV NORD:

Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-160 EP5 E3 -ST-99-FB-C-01/02,
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P,
NH 99.001 m (E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01/02), DIBt WZ S, GK S

- Lastannahmen für Turm und Fundament - "

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-1 D IX

Rev. 0, Datum: 08.08.2022

[1.2.5] ENERCON GmbH:

Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen E160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01,

"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche"

Dokument-Nr: D02487099

Rev. 1, Datum: 14.11.2022

[1.2.6] ENERCON GmbH:

Lastfallbeschreibung E-160 EP5 E3,

"Loadcase description EP5"

Dokument-Nr.: D1004865

Rev. 6, Datum: 03.06.2022

[1.2.7] 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

Rev. 0.4, Datum: 22.06.2021

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 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 Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.4] genauer beschrieben sind.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Türme HST-120m und ST-99m hinzugefügt.

Mit Rev. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde der Turm HT-166m aktualisiert (9.6 rpm).

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 jeweils der Gutachtlichen Stellungnahme der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.4] zu entnehmen. Die diesem Bericht zugrundeliegenden Nabenhöhen basieren auf unterschiedlichen Umgebungsbedingungen. Die entsprechenden Werte sind hierfür den Gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.2] - [1.2.4] 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 Nabenhöhen in [1.2.2] - [1.2.4] 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 Nabenhöhen 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% 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 Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen

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

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] - [1.2.4]
Formparameter der Weibull-Funktion k	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit V_1 (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit V_{50} (10 Minuten Mittelwert)	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s I_{ref}	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
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	≤ 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] mit 7 Tage/Jahr für [1.2.2] 31.25 Tage/Jahr für [1.2.3]- [1.2.4]
Netzausfälle	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Low Voltage Ride Through	Berücksichtigt durch Chopper für Events bis 2 Sekunden
Auslegungslbensdauer	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

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] - [1.2.4]
Turmhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Nabenhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Rotorblatt	LM 78.3 P
Rotorblattlänge (exkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	78.18 m
Rotorblattmasse (inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	24413 kg [1.2.2] 24753 kg [1.2.3] - [1.2.4]
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen, exkl. Blattadapter)	593141 kgm [1.2.2] 601304 kgm [1.2.3] - [1.2.4]
Blattanbauten	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Nominaler Rotordurchmesser	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Rotordurchmesser (inkl. Konus)	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Rotorachsneigung	6°
Rotor-Konuswinkel	5° upwind
Rotornennndrehzahl n_r	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Rotorsolldrehzahl n_s^2	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

² Drehzahl auf die im Volllastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	2.5 - 28 m/s
Nennwindgeschwindigkeit v_r	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Reglerfunktionen	Sturmabschaltung, Turm Schwingsüberwachung (EP5-CS-03)
Identifikationsnummer: Anlage	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-160 EP5 E3

	Dateiname
Rotorblattstruktur	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Aerodynamische Profile	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turmstruktur	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Controller	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

Zur adäquaten Berücksichtigung von Fertigungs- und Montagtoleranzen 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	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
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: $k_{\phi,dyn}$	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

³ Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

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] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel 6P - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.4]

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-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 Nabenhöhen 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] - [1.2.7] 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 keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1]. Dies erfolgte bereits in der Prüfung der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.4].
- 5.4.7. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lasten am Turm beinhalten die Einflüsse aus den vorhandenen 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.

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 [1.2.6] 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 Offene Punkte

Keine.

8 Zusammenfassung

Die in [1.1.1] und [1.1.2] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, LM 78.3 P, verschiedene NH, 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 Nabenhöhen in [1.2.2] - [1.2.4] zusätzlich berücksichtigt.

Sachverständiger:



M.Sc. Simon Wiedemann

Freigegeben:



Dipl.-Ing. Nadine Scharlaug

Gutachtliche Stellungnahme

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

- Sicherheitssystem und Handbücher -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-2 D Rev.1

Gegenstand der Prüfung: 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
1	11.10.2022	Ergänzung der E-160 EP5 E3 mit 120 m NH (HST), Entfernung der Auflage bzgl. Wartungswindgeschw., Redaktionelle Änderungen und Aktualisierung von Dokumenten, Tabelle 4.1 aktualisiert	Gunnar Ewald

Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen	3
1.1	Geprüfte Unterlagen	3
1.2	Zugehörige Unterlagen	6
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einleitung	8
4	Beschreibung der Windenergieanlage	8
4.1	Turbinen Konfiguration	8
4.2	Temperaturvariante	9
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	9
4.4	Mechanische Bremse	9
4.5	Laufzeitverlängerung	9
5	Durchgeführte Prüfung	10
5.1	Prüfmethodik	10
5.2	Anmerkungen	10
5.3	Prüfergebnisse	11
5.4	Schnittstellen	12
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: 23.08.2021
- [1.1.2] ENERCON GmbH:
"Betriebsanleitung, Beschreibung und Bedienung
ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02415262/3.0-de
Rev. 3, Datum: 18.07.2022
- [1.1.3] Lagerwey Wind BV:
"EP5-E3 Description Operation and Safety System"
Dok. ID: M00-C2-40-050403-R1
Rev. 1, Datum: 16.11.2021
- [1.1.4] Lagerwey Wind BV:
"EP5-E3 Control system safety"
Dok. ID: M00-C2-40-050404-R1
Rev. 1, Datum: 10.11.2021
- [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: 25.10.2021
- [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: 25.10.2021
- [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: 25.10.2021

- [1.1.9] Lagerwey Wind BV:
"Wind Turbine Control Check"
Dok. ID: M00-C2-40-050102-R4
Rev. 4, Datum: 26.08.2021

- [1.1.10] Lagerwey Wind BV:
"EP5 WTG Safety System FMEA"
Dok. ID: M00-C2-40-050305-R1
Rev. 1, Datum: 27.07.2021

- [1.1.11] Lagerwey Wind BV:
"EP5 E3 Yaw System FMEA"
Dateiname: D02487311_0.0-en EP5 E3 Yaw System FMEA.xlsx
Datum: 29.07.2021

- [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: 08.10.2021

- [1.1.13] Lagerwey Wind BV:
"Safety and Function Test"
Dok. ID: M00-C2-30-050094-R6
Rev. 6, Datum: 29.08.2021

- [1.1.14] Lagerwey Wind BV:
"Functional turbine specification E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02274526 (former M00-C2-30-10988)
Rev. 3.1, Datum: 05.08.2022

- [1.1.15] Lagerwey Wind BV:
"Software quality assurance plan"
Dok. ID: M00-C2-30-050145-R3
Rev. 3, Datum: 28.01.2021

- [1.1.16] Lagerwey Wind BV:
"Finite State Machine"
Dok. ID: M00-C2-30-050073-R13
Rev. 13, Datum: 10.09.2021

- [1.1.17] Lagerwey Wind BV:
"Parameter structure description"
Dok. ID: M00-C2-30-050074-R8
Rev. 8, Datum: 24.09.2020

- [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: 28.10.2021

Handbücher

- [1.1.19] ENERCON GmbH:
"Verladehandbuch EP5"
Dok. ID: D02109115/4.1
Rev. 4.1, Datum: 31.03.2022
- [1.1.20] ENERCON GmbH:
"Verladehandbuch Stahltürme (ST/MST/HST)"
Dok. ID: PLM-TES-DC026-VH_Stahlurm-Rev002de-de/
Rev. 2, Datum: 23.07.2020
- [1.1.21] ENERCON GmbH:
"Inbetriebnahmeanleitung, Inbetriebnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02402539 2
Rev. 0, Datum: 18.06.2021
- [1.1.22] ENERCON GmbH:
"Wartungsanleitung, Hauptwartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02406226 1
Rev. 1, Datum: 31.08.2021
- [1.1.23] ENERCON GmbH:
"Inbetriebnahmeanleitung, 300 h-Wartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02408552 1
Rev. 1, Datum: 26.08.2021
- [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. 0, Datum: 22.06.2021
- [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: 18.03.2021
- [1.1.26] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montageanleitung Hybridturm (HT)"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-15-001 Rev015
Rev. 15, Datum: 18.06.2020
- [1.1.27] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montageanleitung Hybrid-Stahlurm (HST)"
Document ID: TD-gccs-08-de-de-21-079
Rev. 2, Datum: 31.03.2022

[1.1.28] ENERCON GmbH:

"Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften"
Dok. Nr.: BA_bl_1001-1_Gesundheits-, Arbeits- und
Umweltschutzvorschriften_WEA-Service_Rev001_de-de
Rev. 1, Datum: 12.12.2019

[1.1.29] 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: 28.03.2019

[1.1.30] ENERCON GmbH:

"Minimum Bolting Specification, E-160 EP5 E3-HST-114-FB-C-01"
Document ID: D02395432/0.0
Rev. 0, Datum: 10.03.2022

[1.1.31] ENERCON GmbH:

"Minimum Bolting Specification, E-160 EP5 E3-ST-98-FB-C-01"
Document ID: D02334948/2.1-en
Rev. 2.1, Datum: 10.08.2022

[1.1.32] ENERCON GmbH:

"Minimum Bolting Specification, E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01"
Document ID: D02650558/0.0
Rev. 0, Datum: 16.03.2022

1.2 Zugehörige Unterlagen

[1.2.1] Lagerwey Wind BV:

"Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations"
Dok. ID: D02274524 (ehemals M00-C2-30-10480)
Rev. 3.0, Datum: 29.03.2022

[1.2.2] TÜV Rheinland Industrie Service GmbH:

"Certificate Product tested: Pitch Inverter for Wind Turbines"
Dokument Nr.: 968_FSP_1188_04_21
Datum: 06.04.2021

[1.2.3] ENERCON GmbH:

"Stellungnahme_Errichtungshandbücher"
Dok. ID: D0828100-4.0 / DZ
Datum: 24.11.2021

[1.2.4] ENERCON GmbH:

"Reglerbeschreibung E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02342195-4.1
Datum: 24.05.2022

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
"Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01"
Dok. ID: D02630078_1.0
Datum: 27.06.2022
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
"Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-ST-98-FB-C-01"
Dok. ID: D02334957_0.0
Datum: 16.04.2021

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 (VDE 0127-1):2019-12:
"Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019)"
Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019 (Edition 4)

3 Einleitung

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 getriebelos, 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)	Stahlurm (ST) 98 m	Hybridurm (HT) 166 m	Hybrid Stahlurm (HST) 114 m	Hybrid Stahlurm (HST) 120 m
Drehzahlgrenze Betriebsführung (n ₄)	10.81 U/min	10.58 U/min	10.81 U/min	11.04 U/min
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem (n _A)	11.75 U/min	10.81 U/min	11.75 U/min	12.00 U/min
Einschaltwindgeschw.	2.5 m/s			
Nennwindgeschw.	12.4 m/s			
Abschaltwindgeschw.	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 Windenergieanlagen der EP5 E3 Plattform 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
- Überwachung der Kabelverdrillung
- Generatorüberlastung oder - Fehler
- Kurzschluss
- Überwachung des Pitchsystems
- Überwachung des Betriebsführungssystems

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

Für die Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform besteht die Option einer verlängerten Lebensdauer von bis zu 25 Jahren. 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 [1.1.2].

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] und hat eine Gültigkeit bis zum 06.04.2026.

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] geforderten Informationen in den jeweiligen Handbüchern enthalten sind. Die Überprüfung aller angegebenen Parameter und Software-Validierung sowie eine vollständige Überprüfung aller Spezifikationen, z.B. Schraubmomente, Schmierstoffe, Gewichte und Abmessungen, elektrische Eigenschaften etc. sind nicht Bestandteil dieses Prüfberichts.

5.2 Anmerkungen

5.2.1 Haftungsausschluss

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

5.2.2 Gültigkeit der Dokumente

Für die Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform 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 DIN EN 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 DIN EN 61400-1 Edition 3 zur Edition 4 gültig ist.

5.3 Prüfergebnisse

5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

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

5.3.2 Qualitätssicherung

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform 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.

5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

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

5.3.4 Cyber Security

Die Fähigkeit Angriffe auf die Sicherheitsfunktionen mit hinsicht auf Cyber Security wurde durch die Cyber-Risikoanalyse und den definierten Maßnahmen [1.1.29] hinreichend demonstriert.

5.3.5 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.

5.3.6 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. Des Weiteren sind für die E-160 EP5 E3 mit ST 98 m die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen in [1.1.31] zu berücksichtigen.

Die Errichtung der E-160 EP5 E3 mit dem HT 166 m ist in [1.1.26] beschrieben. Die Generelle Montageanleitung für die Türme HST-114-FB-C-01 und HST-120-FB-C-01 wird in [1.1.27] beschrieben, während die Umgebungs- und Errichtungsbedingungen in [1.1.30] bzw. [1.1.32] beschrieben werden und zu berücksichtigen sind.

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 Prüfungsumfanges
 - Prüfergebnis und ggf. Auflagen

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

- 6.3 Für die Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform besteht die Option einer verlängerten Lebensdauer von bis zu 25 Jahren. 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 Für die Errichtung der Windenergieanlage E-160 EP5 E3-ST-98-FB-C-01 sind die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen in [1.1.31] zu berücksichtigen. Die finalen Errichtungshandbücher müssen von ENERCON zur Verfügung gestellt und vom TÜV NORD geprüft werden bevor der erste Serienturm errichtet wird.
- 6.5 Für die Errichtung der Windenergieanlage E-160 EP5 E3-HST-114-FB-C-01 sind die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen in [1.1.30] zu berücksichtigen. Die finalen Errichtungshandbücher müssen von ENERCON zur Verfügung gestellt und vom TÜV NORD geprüft werden bevor der erste Serienturm errichtet wird.
- 6.6 Für die Errichtung der Windenergieanlage E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 sind die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen in [1.1.32] zu berücksichtigen. Die finalen Errichtungshandbücher müssen von ENERCON zur Verfügung gestellt und vom TÜV NORD geprüft werden bevor der erste Serienturm errichtet wird.

7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems 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 an das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie die Handbücher sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Kapitel 6 konform zur DIBt-Richtlinie [2.1].

erstellt:



Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald

freigegeben:



Dipl.-Ing. L. Klüppel

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON EP5

Unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen

- Rotorblatt LM 78.3 P -

TÜV NORD Bericht-Nr.:	8118796497-3 D, Rev. 6
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 18 Seiten.

Revisionstabelle

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	21.01.2021	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Polster
1	03.03.2021	140 m Nabenhöhe ergänzt; Handbuch [1.2.45] 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 [1.2.19] - [1.2.27] hinzugefügt	Dipl.-Ing. M. Bätge
3	18.05.2021	Lasten der Konfiguration 3 aktualisiert: [1.2.20], [1.2.21] und [1.2.27]	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] & [1.2.26]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.5], [1.2.6], [1.2.13], [1.2.28] - [1.2.30], [1.2.41], [1.2.44], [1.2.46] & [1.2.50]; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. M. Polster
5	01.11.2022	Konfigurationen 5 und 6 mit Blattvariante LM 78.3 P Gen. C hinzugefügt; Anerkannte Regelwerke [2.4] - [2.7] hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.17], [1.2.29], [1.2.30]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.7], [1.2.8], [1.2.31] - [1.2.33], [1.2.51], [1.2.52]; WEA Bezeichnung in der Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3 für die Konfigurationen 1 - 3 angepasst; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. (FH) S. Stojkovic
6	06.01.2023	Konfigurationen 7 und 8 mit Blattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.29], [1.2.30], [1.2.47]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.9], [1.2.10], [1.2.11]; [1.2.34] - [1.2.37], [1.2.38], [1.2.39], [1.2.53], [1.2.54]; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. (FH) S. Stojkovic

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	9
3	Einleitung	10
4	Beschreibung der Komponente	10
4.1	Klimatische Bedingungen.....	10
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	10
4.3	Designlasten	12
4.4	Materialien.....	13
5	Durchgeführte Prüfung.....	13
5.1	Prüfmethode.....	13
5.2	Anmerkungen	14
5.3	Ergebnisse	14
5.4	Schnittstellen.....	17
6	Auflagen.....	17
7	Schlussfolgerung	18

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Keine.

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
- [1.2.7] Bureau Veritas Certification:
"Type Testing Evaluation Conformity Statement LM 78.3 P"
Dokument-Nr.: 190061-CS-TY-01-0, Datum: 15.10.2021
- [1.2.8] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-08-1"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-08-1, Rev. 1, Datum: 08.06.2022
- [1.2.9] Bureau Veritas Certification:
"Component Certificate, LM 78.3 P Wind Turbine Rotor Blade"
Zertifikats-Nr.: IECRE.WE.CC.21.0066-R1, Rev. 1, Datum: 14.04.2022
- [1.2.10] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-09-1"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-09-1, Rev. 1, Datum: 29.07.2022

[1.2.11] Bureau Veritas Certification:

"Conformity Letter 190061-CL-BLA-11-0"

Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-11-0, Rev. 0, Datum: 14.11.2022

Auslegungslasten

[1.2.12] "Load Conversion Report, LM 78.3 P"

Dokument-Nr.: TR-10898, Rev. A4, Datum: 06.07.2020

[1.2.13] "Load Conversion Report, LM 78.3 P"

Dokument-Nr.: TR-10898, Rev. A5, Datum: 17.08.2021

WEA-Lasten

[1.2.14] "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

[1.2.15] 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

[1.2.16] 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

[1.2.17] 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. 1, Datum: 31.01.2021

[1.2.18] 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

[1.2.19] "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

[1.2.20] 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

- [1.2.21] 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
- [1.2.22] 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
- [1.2.23] 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
- [1.2.24] 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
- [1.2.25] 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
- [1.2.26] 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 -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119042164-1 D V, Rev. 1, Datum: 03.06.2021
- [1.2.27] 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 -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119042164-1 D VI, Rev. 1, Datum: 18.05.2021
- [1.2.28] "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
- [1.2.29] ENERCON GmbH:
"Load report Rotor blade LM783P_2p"
Dokument-Nr.: D02463292-5.0, Rev. 5.0, Datum: 01.12.2022
- [1.2.30] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DiBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 2, Datum: 19.12.2022

[1.2.31] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW E-160 EP5 E3 99mHH 50Hz Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17223/A1, Rev. A1, Datum: 03.06.2022

[1.2.32] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 119.99 m (E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01) DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-1 D V, Rev. 0, Datum: 10.06.2022

[1.2.33] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 99.001 m (E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01/02), DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-1 D IX, Rev. 0, Datum: 08.08.2022

[1.2.34] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIIA, 50Hz, site Hämelhausen Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17311/A1, Rev. A1, Datum: 20.06.2022

[1.2.35] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIIA, 50Hz – 20yrs Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17476/A1, Rev. A1, Datum: 22.07.2022

[1.2.36] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIB, 50Hz, 25yrs Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17473/A1, Rev. A1, Datum: 22.07.2022

[1.2.37] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIB, 50Hz, 25yrs Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17475/A1, Rev. A1, Datum: 22.07.2022

[1.2.38] ENERCON GmbH:
Lasten für die Konfiguration 7 und 8, enthalten in [1.2.29], Rev.5:
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 Certification LM 78.3P Blade loads
Dateiname: D02733953_0.0_en_Calculation_E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 Certification LM 78.3P Blade loads.zip
Checksumme: MD5-Checksum: 9AFCBB6D5D0930EEFBDF412591199050

[1.2.39] 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.: 8119201822-1 D I, Rev. 2, Datum: 19.12.2022

Zeichnungen

[1.2.40] "Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon" (Gen. B)
Zeichnungs-Nr.: DR-15179, Rev. A3, Datum: 31.05.2020

[1.2.41] "Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon" (Gen. C)
Zeichnungs-Nr.: DR-15179, Rev. A4, Datum: 18.11.2020

[1.2.42] "Main Drawing, LM 78.3 P"
Zeichnungs-Nr.: DR-15183, Rev. A1, Datum: 15.11.2019

Blatt Design Spezifikation und Handbuch

[1.2.43] "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

[1.2.44] "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

[1.2.45] "Technical Blade Manual, LM 78.3 P" (Gen. B)
Dokument-Nr.: BM-00488, Rev. A3, Datum: 14.07.2020

[1.2.46] "Technical Blade Manual, LM 78.3 P" (Gen. C)
Dokument-Nr.: BM-00488, Rev. A6, Datum: -

Aerodynamische Anbauteile und Blitzschutzsystem

[1.2.47] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Vortex Generators Mk. II - unspecific LM rotor blades -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115417663-3 E I, Rev. 2, Datum: 11.07.2022

[1.2.48] 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

[1.2.49] 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

[1.2.50] 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

Weiteres

- [1.2.51] Email Bestätigung: Gen. C Designlasten decken 120mHH Konfiguration 6 ab,
"LM78.3P Gen C - 99mHH + 120mHH"
Email von Herrn Kaveti am 28.09.22; erhalten von Herrn Keller am 29.09.2022
- [1.2.52] LM Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer
"LM 78.3 P Blade on E-160 with 99m tower – Load Evaluation"
LM Statement erhalten via Email von Herrn Keller am 26.10.2022
- [1.2.53] LM Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer
"Blade LM 78.3 P on E-160, hub height 166m"
Dokument datiert am 14.12.2022
Dateiname: LM Wind Power - LM783P on E-160 hub height 166m.pdf
Erhalten via Email von Herrn Keller am 14.12.2022
- [1.2.54] LM Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer
"LM 78.3 P Generation B blade at Hämelhausen – Load Evaluation"
Dokument datiert am 06.12.2022
Dateiname: LM Wind Power - LM783P GenB at Hämelhausen - Load
Evaluation TR-17311.pdf
Erhalten via Email von Herrn Keller am 14.12.2022

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
- [2.4] IECRE Operational Document IECRE OD-501:
"Type and Component Certification Scheme"
Edition 2.0, dated 2018-05-24
- [2.5] IECRE Operational Document IECRE OD-501-1:
"Conformity assessment and certification of Blade by RECB"
Edition 1.0, dated 2017-09-12

- [2.6] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"
3rd edition, 2005-08 + Amendment 1, 2010-10
- [2.7] International Standard IEC 61400-1:
"Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements"
Edition 4.0, 2019-02

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 Report sowie Design Evaluation Conformity Statement [1.2.1] - [1.2.2] gemäß Norm IEC 61400-22 [2.3] in Kombination mit IEC 61400-1 Ed.3 [2.6] oder IEC 61400-1 Ed.4 [2.7] sowie gemäß IECRE OD-501 [2.4] in Kombination mit OD-501-1 [2.5].

In Revision 6 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Lasten der Konfigurationen 7 und 8 für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. B und Gen. C hinzugefügt. Die Integrität des Rotorblatts wurde in dem Conformity Statement [1.2.10] gemäß OD-501 [2.4] in Kombination mit OD-501-1 [2.5] bestätigt. Des Weiteren wurde die optionale Verwendung der Mk III Serrations für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. A und Gen. B durch Bureau Veritas geprüft und gemäß [1.2.11] bestätigt.

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 [1.2.43] und [1.2.44] 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. [1.2.43] und [1.2.44] 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 Konfig. 7: 25 Jahre	25 Jahre

Tabelle 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 EP5 E2 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 EP5 E2 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 EP5 E2 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]
5	E-160 EP5 E3-ST- 99-FB-C-01/02	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.8], [1.2.31]
6	E-160 EP5 E3- HST-120-FB-C-01	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.8], [1.2.31] + [1.2.51]
7	E-160 EP5 E3 HT- 166-ES-C-01, 9.6 rpm	Gen. B	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II, Mk III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.10], [1.2.34], [1.2.36] + [1.2.53], [1.2.54]
8	E-160 EP5 E3 HT- 166-ES-C-01, 9.6 rpm	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.10], [1.2.35], [1.2.37]+ [1.2.53]

Tabelle 4.2: Abgedeckte Konfiguration

4.3 Designlasten

Die Lastannahmen sind in der folgenden Tabelle spezifiziert:

Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Nennleistung	Nabenhöhe	Spezifiziert in	Geprüft in
1	E160 EP5 E2 T140M2 / T143M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	140 m / 143 m	[1.2.15], [1.2.16]	[1.2.17]
2	E160 EP5 E2 T120M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	120 m	[1.2.20] - [1.2.22]	[1.2.26]
3	E160 EP5 E2 T166M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	166 m	[1.2.23] - [1.2.25]	[1.2.27]
4	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.29]	[1.2.30]
5	E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01/02	50 / 60 Hz	5,56 MW	99 m	[1.2.29]	[1.2.30]
6	E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	120 m		
7	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01, 9.6 rpm	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.29] ¹⁾	[1.2.30]
8	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01, 9.6 rpm	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.29] ¹⁾	[1.2.30]

Tabelle 4.3: Abgedeckte Konfiguration

¹⁾ Für die Prüfung der Integrität des Rotorblattes für die Konfigurationen 7 und 8 wurden ausschließlich die in [1.2.29], Rev.5 enthaltenen Lasten gemäß [1.2.38] berücksichtigt.

In den Lastannahmen [1.2.17] und [1.2.18] 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 [1.2.26] und [1.2.27] 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 [1.2.30] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

- 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0,462 Hz
- 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung: 0,763Hz
- Blattmasse (inkl. Blattbolzen): 24753 kg / 24413 kg
- Statisches Moment (Blattwurzel): 601304 kgm / 593141 kgm

In den Lastannahmen [1.2.17], [1.2.26], [1.2.27] und [1.2.30] sind die aerodynamischen Effekte der Anbauteile berücksichtigt.

Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 20 Jahren. Die Auslegungslebensdauer für die Konfigurationen 4 - 8 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 [1.2.12] 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 [1.2.49] ab. Bezüglich der Vortex Generatoren Mk. II wird in [1.2.2] auf die Prüfung in [1.2.47] verwiesen. Die Anbauteile Serrations Mk. II und Mk. III sowie T-Spoiler Mk. II sind in [1.2.2] als auch in [1.2.48] und [1.2.50] 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 [1.2.14] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.12] mit den Lasten der Konfiguration 1 [1.2.15] und [1.2.16] 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 [1.2.19] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.12] mit den Lasten der Konfiguration 2, [1.2.20] - [1.2.22], und Konfiguration 3, [1.2.23] - [1.2.25], 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 [1.2.17], [1.2.26], [1.2.27] und [1.2.30] (bzw. [1.2.32], [1.2.33] und [1.2.39]) geprüft worden.

Für die Einbindung der Konfiguration 5 wurde der Lastvergleich [1.2.31] eingereicht. Darin werden die Designlasten des Rotorblattes LM 78.3 P Gen. C [1.2.13] mit den aktualisierten turbinenspezifischen Lasten [1.2.29] verglichen. Die Richtigkeit der Lasten, die in dem Dokument [1.2.31] herangezogen wurden, wurde durch einen internen Lastvergleich gegen die in dem Bericht geprüften Lasten gemäß [1.2.30] verifiziert. Mit Bezug auf die Konfiguration 6 wurde festgestellt, dass die turbinenspezifischen Extremlasten Teil der in dem Dokument [1.2.29] enthaltenen Lasteinhüllenden sind. Diese Lasteinhüllende wurde in dem eingereichten Lastvergleichsdokument [1.2.31] bei der strukturellen Bewertung des Rotorblattes verwendet. Was die Ermüdungslasten angeht, wurde die Betriebsfestigkeit des Rotorblattes für die Konfiguration 6 mithilfe eines zusätzlichen, internen Lastvergleichs evaluiert. Des Weiteren wurde die Integrität des Rotorblattes anhand von [1.2.51] ergänzend vom Kunden bestätigt.

Für die Prüfung der Konfigurationen 7 und 8 wurden die Lastvergleiche [1.2.34] - [1.2.37] eingereicht, die in dem Konformitätsschreiben [1.2.10] von Bureau Veritas bestätigt wurden. Darin werden die Designlasten der Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. C [1.2.13] bzw. LM 78.3 P Gen. B [1.2.12] jeweils mit denen in dem aktualisierten, turbinenspezifischen Lastbericht [1.2.29] enthaltenen Lasten gemäß [1.2.38] verglichen. Die Richtigkeit der Konfigurationslasten, die jeweils in den Dokumenten [1.2.34] - [1.2.37] herangezogen wurden, wurde durch interne Lastvergleiche verifiziert. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurde die Integrität der betrachteten Rotorblattvarianten anhand der zusätzlich eingereichten Dokumente [1.2.53] und [1.2.54] vom Kunden bestätigt. Die in [1.2.29] enthaltenen Lasten gemäß [1.2.38] wurden in dem Bericht [1.2.30] geprüft. Des Weiteren wurde die optionale Verwendung der Mk III Serrations für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. A und Gen. B durch Bureau Veritas geprüft und gemäß [1.2.11] bestätigt.

5.2 Anmerkungen

In dem eingereichten Lastvergleichsdokument [1.2.31] wurden neben den Extremlasten der Konfiguration 5 auch die Extremlasten der Konfiguration 6 als Einhüllende berücksichtigt, auch wenn das Dokument sich nur auf die Konfiguration 5 bezieht. In Bezug auf die Betriebslasten wurden für die strukturelle Bewertung des Rotorblattes in [1.2.31] ausschließlich die turbinenspezifischen Lasten der Konfiguration 5 berücksichtigt.

Die Anwendung der Serrations Mk III für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. A und Gen. B wurde durch Bureau Veritas gemäß [1.2.11] bestätigt. Die entsprechende Aktualisierung u. a. des Komponentenzertifikats [1.2.9] ist zum Zeitpunkt der Erstellung der Revision 6 dieser Gutachtlichen Stellungnahme noch ausstehend und wird gemäß [1.2.11] im Zuge der Revision von [1.2.9] berücksichtigt.

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 [1.2.17], [1.2.26], [1.2.27] und [1.2.30] ab.

Revision 0

Der Lastvergleich [1.2.14] und die Auslegungslasten [1.2.12] 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 [1.2.45] hinzugefügt und die 140 m Nabenhöhe ergänzt, die bereits in den Lastannahmen [1.2.17] 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 [1.2.19] 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. Alle Prüfergebnisse behalten somit ihre Gültigkeit.

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 [1.2.13] bestätigt. In [1.2.6] wird die Gültigkeit mit Konfigurationslasten [1.2.28] bestätigt. Die Gültigkeit der statischen Blatttests gegenüber den Designlasten [1.2.13] und Konfigurationslasten [1.2.28] wird in [1.2.5] bzw. [1.2.6] bestätigt.

Die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.29] wurden in [1.2.30] geprüft. Der interne Vergleich der Konfigurationslasten mit den Designlasten zeigt, dass die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.29] durch die Designlasten in [1.2.13] und Konfigurationslasten in [1.2.28] abgedeckt sind. [1.2.6] kann damit bestätigt werden.

Revision 5

Die Eigenschaften des verwendeten Blattmodells in den Lastannahmen gemäß [1.2.30] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.44] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.30] ab.

Das Lastvergleichsdokument [1.2.31], welches durch das Konformitätsschreiben [1.2.8] von Bureau Veritas evaluiert wurde, bestätigt die strukturelle Integrität des Rotorblattes LM 78.3 P Gen. C für die Konfiguration 5. Ein zusätzlicher interner Abgleich der in dem Lastvergleich [1.2.31] verwendeten Extremlasten mit den entsprechenden Konfiguration 5 Lasten gemäß [1.2.29] zeigt eine gute Übereinstimmung. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurden Abweichungen hinsichtlich der DELs festgestellt. Gemäß Kundenaussage ist der Unterschied in den DELs auf die vereinfachte Betrachtung der Ermüdungslasten in dem Lastvergleich [1.2.31] zurückzuführen. Nichtsdestotrotz zeigt der interne Lastvergleich, dass die in dem Dokument [1.2.31] herangezogenen Lasten grundsätzlich höher sind und damit konservativ. Für Bereiche, die die eigentlichen Turbinenlasten nicht abdecken, sind die geringfügig höheren Lasten laut dem Bestätigungsschreiben vom Kunden gemäß [1.2.52] akzeptabel und für die strukturelle Integrität des Rotorblattes zulässig. Diese Kundenbestätigung wurde als plausibel erachtet.

Neben dem oben genannten und unter Berücksichtigung des im Kapitel 5.1 und 5.2 beschriebenen Sachverhalts hinsichtlich Konfiguration 6 konnte der Lastvergleich [1.2.31] mithilfe zusätzlicher, interner Prüfung und Bewertung bzgl. der strukturellen Blattintegrität für die Konfiguration 6 mit positivem Ergebnis bewertet werden.

Die Gültigkeit des statischen Blatttests, der in [1.2.5] und [1.2.7] evaluiert wurde, wurde in dem Konformitätsschreiben [1.2.8] für die Konfiguration 5 bestätigt. Zusätzlich dazu wurde die Gültigkeit des Blatttests in Bezug auf die Konfiguration 6 verifiziert und konnte ergänzend anhand früherer Projekte mit positiven Ergebnis bestätigt werden.

Revision 6

Die Eigenschaften des verwendeten Blattmodells in den Lastannahmen gemäß [1.2.30] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.43] bzw. gemäß [1.2.44] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.30] ab.

Die Lastvergleichsdokumente [1.2.34] und [1.2.36] bzw. [1.2.35] und [1.2.37], die durch das Konformitätsschreiben [1.2.10] von Bureau Veritas evaluiert wurden, bestätigen jeweils die strukturelle Integrität der Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C für die Konfigurationen 7 und 8. Zusätzliche interne Abgleiche der in den Lastvergleichen [1.2.34] - [1.2.37] verwendeten Extremlasten mit denen in [1.2.29] enthaltenen turbinenspezifischen Lasten gemäß [1.2.38] zeigen eine gute Übereinstimmung. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurden Abweichungen hinsichtlich der DELs festgestellt. Gemäß Kundenaussage ist der Unterschied in den DELs auf die unterschiedliche Auswertungsmethode der Markov-Dateien zwischen ENERCON und LM zurückzuführen. Die internen Lastvergleiche zeigen, dass die in den Dokumenten [1.2.34] - [1.2.37] herangezogenen Lasten grundsätzlich höher und damit konservativ sind. Für Bereiche, die die eigentlichen Turbinenlasten nicht abdecken, sind die geringfügig höheren Lasten laut Bestätigungsschreiben vom Kunden gemäß [1.2.53] und [1.2.54] akzeptabel und für die strukturelle Integrität des Rotorblattes zulässig. Diese Kundenbestätigung wurde für plausibel erachtet.

Die Gültigkeit des statischen Blatttests, der in [1.2.5] und [1.2.7] evaluiert wurde, wurde in dem Konformitätsschreiben [1.2.10] für die Konfigurationen 7 und 8 bestätigt.

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, die Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C 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. (FH) S. Stojkovic

Freigegeben:



Dipl.-Ing. M. Passow

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.

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON EP5

- Maschinenbauliche Komponenten -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-4 D Rev. 3

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 19 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	26.11.2021	- Erstausgabe	R. Sommerfeld
1	04.08.2022	- Bezeichnung Rotorblatt aktualisiert - Schnittstelle zum Turm aktualisiert - Blattverstellgetriebe 4.3.2.2 aktualisiert - Maschinenträger 4.3.9.1 aktualisiert - Rotorrahmen Varianten 4.3.10.2 & 4.3.10.1 (Var.2) aufgenommen - Stator Tragstruktur 4.3.11.1 aktualisiert - Azimutlager 4.3.14.1 & 4.3.14.2 aktualisiert - Azimutgetriebe 4.3.15.1 & 4.3.15.2 aktualisiert - Rotorarretierung 4.3.13.2 hinzugefügt	C. Burges
2	21.09.2022	- Lastannahmen aktualisiert - Design Basis aktualisiert - Bericht Turmkopfflansch aktualisiert - WEA Varianten Nr. 2-3 hinzugefügt - Bedingung 7.2 aktualisiert	R. Sommerfeld
3	02.02.2023	- Lastannahmen [1.3.1] aktualisiert - Prüfbericht [1.4.1] aktualisiert - Generatorbezeichnung unter 4.1 aktualisiert - Kapitel 5.4 aktualisiert - Kapitel 5.6 Schnittstelle Rotorblatt aktualisiert - Rotorblatt von WEA Variante Nr. 1 in Tabelle 4.2 aktualisiert	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	6
1.3	Lastannahmen	7
1.4	Zugehörige Prüfberichte	7
1.5	Hauptzeichnung	8
2	Prüfgrundlagen	8
3	Einleitung	8
4	Beschreibung der Windenergieanlage	8
4.1	Anlagenkonzept	8
4.2	Umgebungsbedingungen	9
4.3	Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen	9
4.3.1	Blattlager.....	9
4.3.2	Blattverstellgetriebe.....	10
4.3.3	Blattarretierung	10
4.3.4	Rotornabe	10

	4.3.5	Hauptlager	11
	4.3.6	Achszapfen	11
	4.3.7	Rotorträger	11
	4.3.8	Achsdeckel	12
	4.3.9	Maschinenträger	12
	4.3.10	Rotorrahmen	12
	4.3.11	Stator Tragstruktur	12
	4.3.12	Wartungsbremse	13
	4.3.13	Rotorarretierung	13
	4.3.14	Azimutlager	13
	4.3.15	Azimutgetriebe	14
	4.3.16	Hydrauliksystem	15
	4.3.17	Leitschaufeln Generatorkühlung (optional)	15
	4.4	Verwendung in Windenergieanlagen	15
5		Durchgeführte Prüfungen	15
	5.1	Prüfmethode	15
	5.2	Mechanische Komponenten und Antriebe	16
	5.3	Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen	16
	5.4	Hinweise und Annahmen	17
	5.5	Prüfergebnis	17
	5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm	18
6		Ausstehende Nachweise	18
7		Bedingungen	18
8		Schlussfolgerungen	19

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
- [1.1.10] Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH:
Technical Data Sheet rothe erde Large Diameter Slewing Bearing - Yaw
bearing E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: 20406_00 , Rev. 00, vom 23.12.2021
- [1.1.11] Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.:
TMB Slewing Bearing Calculation Report - E-160 EP5 E3 Yaw Bearing
Dokument Nr.: CR2021-11-29/1, Rev. 1, vom 29.11.2021

Azimutgetriebe

- [1.1.12] Bonfiglioli Trasmital:
Technical Report - Yaw Drive E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: I21027D_D_rev2, Rev. 2, vom 06.12.2021
- [1.1.13] Liebherr Components Biberach GmbH:
Calculation Yaw gearbox ENERCON EP5 E3
Dokument Nr.: 2021-003-3, Rev. 3, vom 03.12.2021

Azimutarretierung

- [1.1.14] ENERCON GmbH:
Berechnung Azimutmotor und -bremse E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D02235469, Rev. 3.1, vom 07.02.2022

Leitschaufeln Generatorkühlung

- [1.1.15] Lagerwey Wind BV:
Strength analysis distortion vanes for generator cooling
Dokument Nr.: M03-C2-40-000881-R0, Rev. R0, vom 24.09.2021

Schraubverbindungen

- [1.1.16] 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
- [1.1.17] 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

[1.1.18] Lagerwey Wind BV:

Load set comparison EP5 - E-160 E3 - t98m, t99m, t114m, t120m & t166m IIIA
WZ S & IIB WZ S 25yr and Hor W40 + W110 25yr
Dokument Nr.: M00-C2-40-000875-R2, Rev. R2, vom 09.08.2022

[1.1.19] 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

[1.1.20] ENERCON GmbH:

Load comparison yaw adjustment system E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D02744311, Rev. 0, vom 04.08.2022

Zeichnungsvergleich

[1.1.21] ENERCON GmbH:

Drawing Comparison E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D02690592, Rev. 0.0, vom 19.05.2022

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

[1.2.3] ENERCON GmbH:

Specification Yaw bearing E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D02537769-0.1, Rev. 0.1, vom 14.12.2020

[1.2.4] ENERCON GmbH:

Lastaufbereitung Azimutverstellungssystem E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D02537776-0.1, Rev. 0.1, vom 16.11.2021

Azimutgetriebe

[1.2.5] ENERCON GmbH:

Technical specification Yaw gear E-160 EP5 E3
Dokument Nr.: D0971019, Rev. 5, vom 16.11.2021

Hydrauliksystem

- [1.2.6] 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

- [1.2.7] 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, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und
Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 2, vom 19.12.2022

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. 15, vom 10.10.2022
- [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. 11, vom 14.09.2022
- [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 Windzonen - Turmkopfflansch -
Bericht Nr.: 8119616205-11 D, Rev. 1, vom 29.11.2021

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
Auslegungslbensdauer WEA Variante Nr. 1-3:	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 E3 EP5-GU-01 & E-160 E3 EP5-GU-02
Generatorhersteller:	ENERCON GmbH

4.2 Umgebungsbedingungen

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

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

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

4.3 Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen

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

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

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. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.1.2 Alternative Komponente

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. 1-3 (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. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.2 Alternative Komponente

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 400/3460
Produktcode:	12865698
Getriebeübersetzung:	175
Hauptzeichnung Nr.:	368 460 4000 99 0, Rev. 04.3, vom 07.09.2020
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. 1-3 (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. 1-3 (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. 1-3 (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. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.2 Alternative Komponente

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. 1-3 (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. 1-3 (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. 1-3 (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. 1-3 (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.: D02163255/1.0-de/en, Rev. 1, vom 17.11.2021
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.10 Rotorrahmen

4.3.10.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S235JR/S355J2
Hauptzeichnung Nr. (Var.1): 20-031743, Rev. D, vom 08.01.2021
Hauptzeichnung Nr. (Var.2): 20-032181, Rev. A, dated 2020-11-26
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.10.2 Alternative Komponente

Auslegung: Enercon GmbH
Typ: Steel part
Material: S355J2
Hauptzeichnung Nr.: D02484152/0.0, Rev. 0.0, dated 2022-02-01
Verwendung: WEA Variante No. 1-3 (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. B, vom 26.08.2021
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (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. 1-3 (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. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.13.2 Alternative Komponente

Auslegung:	Trebu Technology B.V.
Typ:	Stahlbauteil
Material:	34CrNiMo6+QT
Hauptzeichnung Nr.:	20-1349, Rev. C, vom 26.07.2022
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14 Azimutlager

4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH
Typ:	Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung:	37030990
Material:	42CrMo4 V / Q+T
Hauptzeichnung Nr.:	092.55.3996.001.48.150D, Rev. B, vom 23.12.2021
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: Y033.60.3993K
Material: 42CrMo4 + QT
Hauptzeichnung Nr.: Y033.60.3993K3, Rev. -, vom 26.11.2021
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (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. C, vom 17.03.2022 (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. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.15.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: DAT 450/4405
Produktcode: 13434316
Getriebeübersetzung: 1857,69
Hauptzeichnung Nr.: 13434316-99, Rev. 04.2, vom 03.12.2021
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. 1-3 (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. 1-3 (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. 1-3 (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	Gelände-kategorie	Prüfbericht Lasten
1	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen B & C	166.66 m (E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]
2	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	120 m (E-160 EP5 E3- HST-120-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]
3	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	99 m (E-160 EP5 E3-ST- 99-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]

*Vereisungsklima berücksichtigt

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 unter Berücksichtigung der Lasten D02458028 (AUR) aus dem Lastbericht D02463290, geprüft mit der Gutachtlichen Stellungnahme [1.3.1], nachgewiesen und geprüft. Für alle weiteren Komponenten wurden die Lasten D02455948 (BV) aus [1.3.1] berücksichtigt.

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 Gen B & C
Max./min. Vorspannkraft der Schrauben:	450 kN / 321 kN
Schraubverbindung Azimutlager zum Turmkopfflansch und Maschinenträger:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung, siehe Gutachtliche Stellungnahme [1.4.6]
Turmkopfflansch:	Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung

6 Ausstehende Nachweise

keine

7 Bedingungen

- 7.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- 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.
- 7.3 Die Hinweise und Auflagen in den Prüfberichten [1.4.1] - [1.4.6] 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

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON EP5

- Verkleidungen & Strukturen -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8119201822-12 D Rev. 3

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
1	07.06.2022	- Bezeichnung Rotorblatt in Tabelle 4.2 aktualisiert - Anschlagpunkte [1.1.3] aktualisiert	F. Rodriguez
2	21.09.2022	- Lastannahmen aktualisiert - Design Basis aktualisiert - WEA Varianten Nr. 2-3 hinzugefügt	R. Sommerfeld
3	02.02.2023	- Lastannahmen [1.3.1] aktualisiert - Rotorblatt von WEA Variante Nr. 1 in Tabelle 4.2 aktualisiert	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

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. 1.0, vom 25.02.2022

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, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und
Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 2, vom 19.12.2022

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. 11, vom 14.09.2022

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 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_2.0
MD5-Checksum: 6b358bc73eb6f46fcb91a637c6bb9d09
Extremwindgeschw. v_{e50} : 54 m/s
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (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_2.0
MD5-Checksum: 6b358bc73eb6f46fcb91a637c6bb9d09
Extremwindgeschw. v_{e50} : 54 m/s
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (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	Geländekategorie	Prüfbericht Lasten
1	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen B & C	166.66 m (E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]
2	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	120 m (E-160 EP5 E3- HST-120-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]
3	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	99 m (E-160 EP5 E3-ST- 99-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.3.1]

*Vereisungsklima berücksichtigt

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

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

ZUSAMMENSTELLUNG GUTACHTLICHER STELLUNGNAHMEN



**für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-160 EP5 E3 R1**



TÜV NORD Berichtsnr.: GS-8121951519-100-001-00

Datum: 2023-11-27

Gegenstand der Prüfung	Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3.
Prüfgrundlage	[1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015 [2] DIN EN IEC 61400-1:2019-12 Windenergieanlagen-Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019) Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019
Kunde	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Besondere Hinweise	Die Zusammenstellung ist vorläufig aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Prüfung des Rotorblattes (siehe O1).

Zuständige(r) Sachverständige(r):	Freigegeben:
 Dr. Michael Broschart	 Dr. rer. nat. Federica Messer

Herausgeber

TÜV NORD CERT GmbH • Am TÜV 1 • 45307 Essen
 Telefon: +49 201 825-0 • Fax: +49 201 825-2517
 info.tncert@tuev-nord.de • www.tuev-nord-cert.com
 Geschäftsführung: Dipl.-Ing. Wolfgang Wielpütz, Dipl.-Oec. Sandra Gerhartz
 Amtsgericht Essen • HRB 9976
 USt.-IdNr.: DE 811389923 • Steuer-Nr.: 111/5706/2193

Urheberrechtshinweis

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. Das Bild auf dem Deckblatt ist urheberrechtlich geschützt durch die Enercon GmbH.

ÄNDERUNGSHISTORIE

Rev.	Datum	Änderungen	Referenznr.	Sachverständige(r)
0	2023-11-27	Erste Fassung	2022-0224-11	Dr. Michael Broschart

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GS	Gutachtliche Stellungnahme
WEA	Windenergieanlage

INHALTSVERZEICHNIS

1	Dokumente	5
1.1	Lastannahmen	5
1.2	Sicherheitssystem und Handbücher	5
1.3	Elektrische Komponenten und Blitzschutz.....	5
1.4	Rotorblatt.....	5
1.5	Maschinenbauliche Komponenten	6
1.6	Verkleidungen und Strukturen	6
1.7	Turmkopfflansch.....	6
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einleitung	6
4	Durchgeführte Prüfungen	7
4.1	Prüfmethode.....	7
5	Hinweise, Auflagen und Bedingungen	7
6	Offene Punkte	7
7	Zusammenfassung	7

1 DOKUMENTE

1.1 Lastannahmen

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S – Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau	8120863590-1 D IV	0	2023-11-09
[1.1.2]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 99,001 m (E-160 EP5 E3 R1-ST-99-FB-C-01/02), DIBt WZ S, GK S – Lastannahmen für Turm und Fundament	8120863590-1 D II	0	2023-05-04
[1.1.3]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 119,827 m (E-160 EP5 E3 R1-HST-120-FB-C-01), DIBt WZ S, GK S – Lastannahmen für Turm und Fundament	8120863590-1 D III	0	2023-05-04
[1.1.4]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, NH 166,6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S – Lasten für Turm und Fundament	8120863590-1 D V	0	2023-11-09

1.2 Sicherheitssystem und Handbücher

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlagen ENERCON EP5 Plattform nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012) – Sicherheitssystem und Handbücher	8119201822-2 D	3	2023-11-09

1.3 Elektrische Komponenten und Blitzschutz

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.3.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 – Elektrische Komponenten und Blitzschutz	GS-8120863590-005-002-00	0	2023-10-04

1.4 Rotorblatt

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.4.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage ENERCON EP5, unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen – Rotorblatt LM 78.3 P	8118 796 497-3 D	6	2023-01-06
[1.4.2]	Bureau Vertias Certification France	Conformity Letter 190061-CL-BLA-12-0, contract reference 190061 – Rotor blade LM 78.3 P. Evaluation of a new loads set TR-20471/A1	190061-CL-BLA-12-0	0	2023-11-17

1.5 Maschinenbauliche Komponenten

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.5.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlagen ENERCON EP5 – Maschinenbauliche Komponenten	GS- 8119201822- 004-001-04	4	2023-11-27

1.6 Verkleidungen und Strukturen

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.6.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlagen ENERCON EP5 – Verkleidungen & Strukturen	GS- 8119201822- 012-001-04	4	2023-11-27

1.7 Turmkopfflansch

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.7.1]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, verschiedene Nabenhöhen und Windzonen – Turmkopfflansch	8121329336-11 D	0	2023-06-22

2 PRÜFGRUNDLAGEN

Nr.	Autor	Titel	Rev.	Datum
[2.1.1]	Deutsches Institut für Bautechnik	DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung	Okt. 2012, 2015-03 korr. 2015	
[2.1.2]	DIN EN IEC 61400-1	Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019) Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019	Ed. 4.0	2019-12

3 EINLEITUNG

Diese Zusammenstellung beinhaltet folgende Anlagenkonfigurationen:

- (1) ENERCON E-160 EP5 E1, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 99,001 m
(Turm: E-160 EP5 E3 R1-ST-99-FB-C-01/02)
- (2) ENERCON E-160 EP5 E1, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 119,827 m
(Turm: E-160 EP5 E3 R1-HST-120-FB-C-01)
- (3) ENERCON E-160 EP5 E1, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 160 m
(Turm: E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01)
- (4) ENERCON E-160 EP5 E1, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 166,6 m
(Turm: E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01)

4 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN

4.1 Prüfmethode

Die unter Kapitel 1 aufgelisteten Gutachtlichen Stellungnahmen wurden bezüglich Übereinstimmung mit den geforderten Anlagenvarianten, sowie der Zugrundelegung der geforderten Prüfgrundlagen 2 überprüft.

Eine Schnittstellenprüfung ist nicht Teil dieser Zusammenstellung.

5 HINWEISE, AUFLAGEN UND BEDINGUNGEN

Abweichend von den in der DIBt [2.1.1] genannten technischen Anforderungen wurde die DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.1.2] verwendet.

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

6 OFFENE PUNKTE

- O1 Diese Zusammenstellung ist vorläufig, denn das Rotorblatt befindet sich aktuell noch in Prüfung durch Bureau Vertias Certification France. Mit [4.2] hat Bureau Vertias Certification France das Rotorblatt hinsichtlich der E-160 EP5 E3 R1 Lasten mittels Lastvergleich gegenüber der Blattdesignlasten bestätigt. Das Blattdesign bleibt unverändert entsprechend der Gutachtlichen Stellungnahme [4.1]. Die Überprüfung seitens TÜV NORD, ob die in dem o.g. Lastvergleich enthaltenen Lasten den vom TÜV NORD geprüften der Anlagenlasten [1.1] entsprechen und eine Erweiterung der Gutachtlichen Stellungnahme des Rotorblattes [4.1] steht noch aus.

7 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 R1 für die unter Kapitel 3 genannten Anlagenkonfigurationen erstellt.

Ausstehend ist die Erweiterung der Gutachtlichen Stellungnahme des Rotor Blattes [4.1] um die Anlagenkonfigurationen E-160 EP5 E3 R1 (siehe O1), was den vorläufigen Charakter dieser Zusammenfassung begründet.

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.

- Ende des Berichtes -

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P,
NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01)
und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01),
DIBt WZ S, GK S**

- Lasten für Turm und Fundament -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D V Rev.0

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen bezüglich der DIBt (2012)
Windzone S, Geländekategorie S

**Anlagenhersteller
(Antragsteller)** ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	09.11.2023	Erste Fassung Referenznummer: 2022-0084	Jan Philipp Lange

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen	4
3	Einleitung	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage	5
4.1	Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen	5
4.2	Sicherheitsklasse	6
4.3	Beschreibung der Anlagen	6
5	Durchgeführte Prüfungen.....	10
5.1	Prüfmethode.....	10
5.2	Anmerkungen.....	10
5.3	Prüfergebnis.....	10
5.4	Schnittstellen	10
6	Auflagen.....	11
7	Offene Punkte	11
8	Zusammenfassung	12

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Turm,
"Load report Tower E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01/HT-160-ESC-01
Envelope of fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3R1-HT-166-
ES-C-01/HT-160-ES-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade
LM78.3P_2P as per DIBt and IEC ed. 4"
Dokument-Nr.: D02772407-1.5
Rev. 1.5, Datum: 20.07.2023
- [1.1.2] ENERCON GmbH:
Lastvergleich mit DLC 2.1Pg and 2.3b,
Dateiname: D02885053_0.0_en_Calculation_E-160 EP5 E3R1-HT-166-FB-C-
01 comparison with DLC 2.1Pg and 2.3b.zip
Prüfsumme (MD5): aa3c7f78b339d521fe876fddebd05ed5
Eingangsdatum: 28.03.2023
- [1.1.3] ENERCON GmbH:
Lastfallbeschreibung,
"Load Case Description IEC ed. 4 + DIBt 2012"
Dokument-Nr.: D02866753/0.1
Rev. 0.1, Datum: 26.03.2023

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis
„Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations“
Dokument Nr.: D02274524 (ehemals M00-C2-30-10480)
Rev. 4.0, Datum: 14.12.2022

Design Basis (Kaltes Klima)

- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Design Basis für Kaltes Klima
„Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen“
Dokument Nr.: D0666243-5
Rev. 5, Datum: 22.10.2021

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Zeitreihen, Eingabedateien, Controller (elektronisch erhalten),
Dateiname: E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01_timeseries_and winds.zip und
Additional_time_series.zip
Prüfsumme (MD5): c12953a7232d2c1fe2b033b047d494e8 und
04d16e394b0dd7d62e6554d0c91076cf
Eingangsdatum: 09.02.2023 und 28.03.2023
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
Technischer Bericht verteilte Turbulenzen,
„Technical report Application and interpretation of the distributed turbulences
method according to IEC 61400-1“
Dokument Nr.: D02385954/0.4
Rev. 0.4, Datum: 22.06.2021
- [1.2.5] ENERCON GmbH:
Betriebsführungs- und Sicherheitssystem
„Reglerbeschreibung E-160 EP5 E3 R1“
Dokument Nr.: D02779175-0.0
Rev. 0.0, Datum: 13.10.2022
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
Stellungnahme zu Rotordrehzahlen
„Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche“
Dokument Nr.: D02484125-0 / ED
Rev. 0, Datum: 20.09.2021

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 1991-1-4/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter –
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen –
Windlasten: 2010-12
- [2.3] DIN EN IEC 61400-1: 2019-12:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019)“
Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019“

3 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung der Windenergieanlage (WEA) E-160 EP5 E3 R1, LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben sind.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt [2.1] in Kombination mit der IEC 61400-1 ed.4 [2.3] durchgeführt.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen

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

	DIBt WZ S GK S IEC IIIA	DIBt WZ S GK S IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit V_{ave}	7.50 m/s	8.50 m/s
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit V_1 (10 Minuten Mittelwert)	30.0 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}	16 %	14 %
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	-
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	2
Höhenexponent α (für EWM)	0.2 (0.16) IEC: 0.2 (0.11)	0.2 (-)
Upflow	8°	

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe 160 m bzw. 166.6 m

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität (TI) pro Windgeschwindigkeit angenommen, siehe [1.2.4].

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

	Luftdichte [kg/m³]
Mittlere Jahresluftdichte	≤ 1.225
Maximale Luftdichte im Produktionsbetrieb	≤ 1.341
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	≤ 1.394

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

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

Klimatische Bedingungen	Normaltemperaturbereich gemäß [2.3].
Normaler Temperaturbereich	-10 °C bis +40 °C
Extremer Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C
Netzausfälle	20 Ausfälle/Jahr
Annahmen zur Netzstützung bei Spannungseinbruch: Spannungsabfall und Dauer	berücksichtigt durch Chopper für Events bis 2 Sekunden
Annahmen bzgl. Eisansatz	31,25 Tage/Jahr Betrieb unter Vereisungsbedingungen im Trudelzustand
Auslegungslbensdauer	DIBt 2012 WZ S GK S, IEC IIIA: 20 Jahre DIBt 2012 WZ S GK S, IEC S: 25 Jahre

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen

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 der Anlagen

Bei der WEA E-160 EP5 E3 R1 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	E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01	E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01
Turmhöhe (inklusive 2.299 m Fundamenthöhe)	164.749 m	158.149 m
Nabenhöhe	166.6 m	160 m
Rotorblatt	LM 78.3 P_2p	
Rotorblattlänge (entlang der Pitch-Achse)	78.385 m	
Rotorblattmasse (inkl. Bolzen)	24413 kg	
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen)	593141 kgm	
Rotorblattanbauten	Serrations (TES), Vortex-Generatoren (VG), T-Spoiler	
Nominaler Rotordurchmesser	160.024 m	
Rotorachsneigung	6°	
Rotor-Konuswinkel	5° upwind	

Rotoreinschalt Drehzahl	4.4 U/min
Rotornenndrehzahl n_r	9.6 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}$	2.5 - 28 m/s (Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s)
Nennwindgeschwindigkeit v_r	12 m/s
Temperaturbereich im Produktionsbetrieb	-10 °C to +40 °C
Reglerfunktionen	Sturmregelung aktive Turmdämpfung

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-160 EP5 E3 R1, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur, siehe [1.2.3]	powprod.\$PJ (IIIA – 1.1_s20103) Prüfsumme (MD5): 38e4e1baa5d9d3c63bf36673ccf683b6	
Aerodynamische Profile, siehe [1.2.3]	powprod.\$PJ (IIIA – 1.1_s20103) Prüfsumme (MD5): 38e4e1baa5d9d3c63bf36673ccf683b6	18.0 % – 100 %
Turmstruktur, siehe [1.1.1] und [1.2.3]	Starre Fundamenteinspannung: powprod.\$PJ (IIIA – 1.1_s20103) Prüfsumme (MD5): 38e4e1baa5d9d3c63bf36673ccf683b6 Weiche Fundamenteinspannung: powprod.\$PJ (IIIA – 1.1_w20103) Prüfsumme (MD5): dcf86ae0360ba170a9b575b486bc84d6	
Controller, siehe [1.1.1] und [1.2.3]	DLL-Controller: Regler.dll Prüfsumme (MD5): 3243628bbe12b7f5ea3d9bcb03b8819f Controller Input: EP5_E160_E3_E- 160_EP5_E3_HT_166_FB_C_01_0.5.51.3_Certification.Daten Prüfsumme (MD5): 6f643df6689c55cf7d588a2296acc513 External Loads DLL: MotorischExternalLoads.dll Prüfsumme (MD5): 6c09b88de764e59afb888c442d55fded	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

Zur adäquaten Berücksichtigung der elastischen Einspannung des Turmfußes am Aufstellort wird eine repräsentative Bodenfederung entsprechend der in Tabelle 4.6 angegebenen Werte angenommen.

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	200000 MNm/rad

Tabelle 4.6: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

Die aus den oben genannten Angaben und Annahmen resultierenden, berechneten Bauteileigenfrequenzen sind in Tabelle 4.7 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 die in Tabelle 4.6 angegebene Bodenfeder sowie die Masse des Turmkopfes.

Komponente		Randbedingungen	Frequenz	
			HT-166-ES-C-01	HT-160-ES-C-01
Blatt, Biegung flapwise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.450 Hz	
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.241 Hz	
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.754 Hz	
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	2.254 Hz	
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.174 Hz	0.178 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.957 Hz	0.994 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.173 Hz	0.176 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.853 Hz	0.881 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.183 Hz	0.187 Hz
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	1.048 Hz	1.080 Hz
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.182 Hz	0.185 Hz
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	0.921 Hz	0.945 Hz

Tabelle 4.7: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-160 EP5 E3 R1, LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01)

Die Lastannahmen umfassen folgende Toleranzen und Varianten:

	Toleranzen	Bedingungen
Massenexzentrizität des Rotors	1206.5 kgm	-
Fehler des Blattanstellwinkels	0.3°	-

	Toleranzen	Bedingungen
1. Turmeigenfrequenz:		
Ungekoppelt, Turm, Biegung fore-aft	0.165 Hz – 0.192 Hz	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. 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.
Ungekoppelt, Turm, Biegung side-side	0.164 Hz – 0.191 Hz	Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“1 darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“1 absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“1 um nicht mehr als 5 % absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
1. Blatteigenfrequenz		
Ungekoppelt, Blatt, Biegung flapwise	0.428 Hz – 0.473 Hz	-
Ungekoppelt, Blatt, Biegung edgewise	0.716 Hz – 0.792 Hz	-
Massenmoment des Rotorblatts	±3 %	vom Nennwert
Elektrische Nennleistung	≤ 5560 kW	-
Rotornenndrehzahl	≤ 9.6 U/min	Geringeres oder gleiches Drehmoment, sofern die aus der Solldrehzahl berechnete Blattdurchgangsfrequenz oberhalb der 1. Turmeigenfrequenz liegt und keine Resonanzbereiche stimuliert werden
Gesamtmasse der Anlage	± 5 %	vom Nennwert
Turmhöhe	± 5 %	vom Nennwert
Geometrische Toleranzen in der Turmschiefstellung	3°	-

Tabelle 4.8: Toleranzen und Varianten

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 unter Berücksichtigung des Betriebs- und Sicherheitssystems [1.2.5] und der Design Basis [1.2.1] und [1.2.2] auf Vollständigkeit sowie 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 Übereinstimmung des Anlagenverhaltens während der Simulation mit dem in [1.1.1], [1.1.2] und [1.2.5] dokumentierten Regelungskonzept der Anlage wurde überprüft.

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

5.2 Anmerkungen

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

5.3 Prüfergebnis

Die in 1.1 beschriebene Vorgehensweise ist zur Bestimmung der Lasten anhand der Richtlinien [2.1] - [2.3] 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 Berechnungskoordinationssystemen ausgewertet worden.

5.4.3. Diese Prüfung beinhaltet die Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.3].

5.4.4. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.

- 5.4.5. Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Lastrechnung wurde unter Berücksichtigung der in Tabelle 4.4 angegebenen Anbauten und Funktionen durchgeführt. Eine Berechnung ohne diese Anbauten und Funktionen, ausgenommen den Toleranzen und Varianten aus Tabelle 4.8, ist nicht Teil dieser Prüfung.
- 5.4.7. Diese Prüfung setzt einen Chopper voraus, der die Anlage im Fall eines Spannungseinbruchs in Betrieb hält. Dieses System muss während der Prüfung der elektrischen Systeme berücksichtigt werden.
- 5.4.8. Diese Prüfung setzt ein Eiserkennungssystem voraus, das den Betrieb mit vereisten Blättern verhindert. Dieses System muss während der Prüfung des Betriebs- und Sicherheitssystems sowie der Prüfung der Rotorblätter berücksichtigt werden.
- 5.4.9. Abweichend von den Angaben in der Design Basis für Kaltes Klima [1.2.2] werden in dieser Lastrechnung die in Tabelle 4.3 dargestellten Vereisungsbedingungen berücksichtigt.

6 Auflagen

Keine.

7 Offene Punkte

Keine.

8 Zusammenfassung

Die in [1.1.1] - [1.1.3] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, LM 78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01) sind konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:

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

M.Sc. Jan Philipp Lange

Freigegeben:

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

Dipl.-Ing. (FH) Gunnar Ewald

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.

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1,
RB LM 78.3 P, verschiedene NH ,
DIBt WZ S, GK S**

- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D IV Rev.0

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, Rotorblatt LM 78.3 P, verschiedene Nabenhöhen bezüglich der DIBt (2012) Windzone S, Geländekategorie S

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	09.11.2023	Erste Fassung Referenznummer: 2022-0084	Volker Smith-Nebe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente	3
2	Prüfgrundlagen	5
3	Einleitung	5
4	Beschreibung der Windenergieanlage	7
4.1	Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen	7
4.2	Sicherheitsklasse	8
4.3	Beschreibung der Anlagen	8
5	Durchgeführte Prüfungen	10
5.1	Prüfmethode	10
5.2	Anmerkungen	11
5.3	Prüfergebnis	11
5.4	Schnittstellen	11
6	Auflagen	12
7	Offene Punkte	12
8	Schlussfolgerung	12

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Maschinenbaulasten
„Load report Machine E-160 EP5 E3R1 Covering fatigue and extreme loads for the E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade LM78.3P_2P as per DIBt and IEC ed. 4.“
Dokument Nr.: D02772385-0.4
Rev. 0.4, Datum: 14.07.2023
- [1.1.2] ENERCON GmbH:
Ergänzungen zu Zertifizierungslastbericht Maschinenbaulasten
(2023-07-05_Load documents for Remarks 3)
Dateinamen:
E160 EP5 E3R1_enveloped_loads_tower_base.xlsx
Prüfsumme (SHA3-256): 059e88549c557259a54f4c66832307b903de0cb7fd75752813eda3db0537ba56,
E160 EP5 E3R1_Simultaneous_loads_BLN_Dim_BLN.xlsx
Prüfsumme (SHA3-256): 5c98c39ff9dc8d5659d5fedecd2923d945353f1ef6f2bfc14b9576dc7f245cc6
Erhalten am: 05.07.2023
- [1.1.3] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Rotorblattlasten
„Load report Rotor blade LM78.3P_2p Covering operating and extreme loads for the Rotor blade LM78.3P_2p with Machine E-160 EP5 E3R1 as per DIBt and IEC ed. 4“
Dokument Nr.: D02772386-0.2
Rev. 0.2, Datum: 17.08.2023

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis
„Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations“
Dokument Nr.: D02274524 (ehemals M00-C2-30-10480)
Rev. 4.0, Datum: 14.12.2022

Design Basis (Kaltes Klima)

- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Design Basis für Kaltes Klima
„Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen“
Dokument Nr.: D0666243-5
Rev. 5, Datum: 22.10.2021

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.3] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-160 EP5 E3 R1-ST-99-FB-C-01/02
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1,
RB LM 78.3 P, NH 99,001 m (E-160 EP5 E3 R1-ST-99-FB-C-01/02),
DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D II Rev.0
Rev. 0, Datum: 04.05.2023
- [1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-160 EP5 E3 R1-HST-120-FB-C-01
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1,
RB LM 78.3 P, NH 119,827 m (E-160 EP5 E3 R1-HST-120-FB-C-01),
DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D III Rev.0
Rev. 0, Datum: 04.05.2023
- [1.2.5] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01, E-
160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM
78.3 P, NH 166.6 m (E-160 EP5 E3 R1-HT-166-ES-C-01) und NH 160 m (E-
160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ S, GK S - Lasten für Turm und
Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8120863590-1 D V Rev.0
Rev. 0, Datum: 09.11.2023
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
Stellungnahme zu Rotordrehzahlen
„Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche“
Dokument Nr.: D02484125-0 / ED
Rev. 0, Datum: 20.09.2021
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
Lastfallbeschreibung
„Load Case Description IEC ed. 4 + DIBt 2012“
Dokument-Nr.: D02779197/0.4
Rev. 0.4, Datum: 17.03.2023
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
Technischer Bericht verteilte Turbulenzen
„Technical report Application and interpretation of the distributed turbulences
method according to IEC 61400-1“
Dokument Nr.: D02385954/0.4
Rev. 0.4, Datum: 22.06.2021

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 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 R1, welche im folgenden Kapitel und den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.3] – [1.2.5] genauer beschrieben sind.

Die geprüften Unterlagen [1.1.1] – [1.1.3] beinhalten hierbei die Lasten verschiedener Nabenhöhen. Eine genaue Beschreibung der WEA inkl. Turm und Fundament ist jeweils der Gutachtlichen Stellungnahme der Turmlasten [1.2.3] – [1.2.5] zu entnehmen.

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

Die Berechnung der Lasten wurde anhand von DIBt (2012) [2.1], [2.2] in Kombination mit 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 Nabenhöhen in [1.2.3] – [1.2.5] berücksichtigt.

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 Nabenhöhen und Windbedingungen referenziert in [1.2.3] – [1.2.5] 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 ± 5 %.
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu ± 5 %.
 - Die erste Turmeigenfrequenz im Ausgangszustand und die erste Turmeigenfrequenz im modifizierten Zustand liegen oberhalb 105 % der 1P Anregung bei Solldrehzahl.
 - Alle weiteren Turmeigenfrequenzen im Ausgangszustand und im modifizierten Zustand liegen außerhalb des Intervalls [90 % - 105 %] der 3P Anregung der Solldrehzahl.
 - Abweichung der 1. Turmeigenfrequenz sind unter folgenden Bedingungen zulässig:
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Weich“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ um nicht mehr als 5 % absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
- Änderungen sowie Abweichungen an der Auslegung des Rotorblattes, sofern folgende Bedingungen eingehalten werden:
 - Abweichungen der ersten Rotorblatteigenfrequenz um bis zu ± 5 %.
 - Abweichungen des Massenmoments um bis zu ± 3 %.

¹ Ausgehend von den ausgewiesenen Werten der hier vorliegenden Lastannahmen

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen

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

	DIBt (2012) WZ S GK S	IEC IIIA	DIBt (2012) WZ S GK S	IEC S
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_{ave}	7,50 m/s		8,50 m/s	
Formparameter der Weibull-Funktion k	2			
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit v_1 (10 Minuten Mittelwert)	30,0 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}	16 %		14 %	
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s		-	
Höhenexponent α (für EWM)	0,2 (0,16)	0,2 (0,11)	0,2 (-)	
Upflow	8°			

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität pro Windgeschwindigkeit angenommen, siehe [1.2.8].

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

	Luftdichte [kg/m³]
Mittlere Jahresluftdichte	≤ 1,225
Maximale Luftdichte im Produktionsbetrieb	≤ 1,341
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	≤ 1,394

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

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

Umweltbedingungen	normales Klima
Temperaturbereich im Produktionsbetrieb	-10 °C bis +40 °C
Extremer Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C
Netzausfälle	20 Ausfälle/Jahr
Betrieb mit vereisten Blättern	31,25 Tage/Jahr Betrieb unter Vereisungsbedingungen

Low Voltage Ride Through (LVRT)	berücksichtigt durch Chopper für Events bis 2 Sekunden
Auslegungslbensdauer	DIBt 2012 WZ S GK S, IEC IIIA: 20 Jahre DIBt 2012 WZ S GK S, IEC S: 25 Jahre

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen

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 der Anlagen

Bei der WEA E-160 EP5 E3 R1 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 [1.2.3] – [1.2.5]
Turmhöhe	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Nabenhöhe	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Rotorblatt	LM 78.3 P_2p
Rotorblattlänge (entlang des Blattes)	78,38494 m
Rotorblattmasse (inkl. Bolzen)	24413 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen)	593141 kgm
Blattanbauteile	Serrations (TES) Vortex-Generatoren (VG) T-Spoiler
Nominaler Rotordurchmesser	160,024 m
Rotorachsneigung	6°
Rotor-Konuswinkel	5° upwind
Rotorenndrehzahl n_r	9,6 U/min
Rotorsolldrehzahl n_s^1	9,6 U/min
Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	4,4 – 11,52 U/min
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant

¹ Drehzahl auf die im Vollastbetrieb geregelt wird

Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $v_{in} - v_{out}^1$	2,5 – 28,0 m/s
Nennwindgeschwindigkeit v_r	12,0 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-160 EP5 E3 R1, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

	Dateiname
Rotorblattstruktur siehe [1.1.3] und [1.2.4]	powprod.\$PJ (IIIA – 1.1_s20103) Prüfsumme (MD5): F9D07B7C93951EC7C0BDB4EED71231C5
Aerodynamische Profile siehe [1.2.4]	powprod.\$PJ (IIIA – 1.1_s20103) Prüfsumme (MD5): F9D07B7C93951EC7C0BDB4EED71231C5
Turmstruktur	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Controller	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]

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	1206,5 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 werden gemäß den Anforderungen der DIBt [2.1] zusätzlich 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 [1.2.3] – [1.2.5]

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

¹ Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

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 (Tabelle 4.7) und eine starre Bodenfeder sowie die Masse des Turmkopfes.

Komponente		Randbedingungen	Frequenz
Blatt, Biegung flapwise	1. EF	fest eingespannt – frei	0,450 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt – frei	1,241 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt – frei	0,754 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt – frei	2,254 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt – frei, inkl. Turmkopfmasse	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-160 EP5 E3 R1, LM 78.3 P, verschiedene NH

Die gekoppelten Eigenfrequenzen sind grafisch im Campbell-Diagramm in [1.2.3] – [1.2.5] 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 den Richtlinien [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

Keine

5.3 Prüfergebnis

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

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

5.4 Schnittstellen

- 5.4.1. Relevante Parameter und Schnittstellenwerte, die über die in Kapitel 4 aufgeführten hinausgehen, sind den Dokumenten [1.1.1], [1.1.3] und [1.2.3] – [1.2.5] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoordinationssystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.3]. Dies erfolgte bereits in der Prüfung der Turmlasten [1.2.3] – [1.2.5].
- 5.4.4. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. In Übereinstimmung mit der Design Basis [1.2.1] wurde diese Lastrechnung unter Berücksichtigung der Blattanbauteile in Tabelle 4.4 durchgeführt. Eine Berechnung ohne diese Anbauten ist nicht Teil dieses Berichtes.
- 5.4.6. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastberechnung berücksichtigt.
- 5.4.7. Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lastrechnung wurde unter der Annahme durchgeführt, dass die Anlage mit einem elektrischen Widerstand (Chopper) ausgestattet ist, der mindestens 2 s der Nennleistung kompensieren kann (11.12 MJ). Dieses System muss während der Prüfung der elektrischen Systeme berücksichtigt werden.

5.4.9. Abweichend von den Angaben in der Design Basis für Kaltes Klima [1.2.2] werden in dieser Lastrechnung die in Tabelle 4.3 dargestellten Vereisungsbedingungen berücksichtigt.

6 Auflagen

Keine.

7 Offene Punkte

Keine.

8 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] – [1.1.3] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, LM 78.3 P, verschiedene NH sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 sowie der offenen Punkte in Punkt 7 konform zur Richtlinie [2.1] berechnet worden.

Sachverständiger:



Dipl.-Phys. Volker Smith-Nebe

Freigegeben:



Dipl.-Ing. Nadine Scharlaug

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.

Gutachtliche Stellungnahme

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

- Sicherheitssystem und Handbücher -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-2 D Rev.3

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

**Anlagenhersteller /
Antragsteller:** 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 17 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	26.11.2021	Erstausgabe	Thomas Zacher
1	11.10.2022	Ergänzung der E-160 EP5 E3 mit 120 m NH (HST), Entfernung der Auflage bzgl. Wartungswindgeschw., Redaktionelle Änderungen und Aktualisierung von Dokumenten, Tabelle 4.1 aktualisiert	Gunnar Ewald
2	12.04.2023	Ergänzung der E-160 EP5 E3 mit 99 m NH (ST-99-FB-C-01/02), Entfernung der Auflagen bzgl. Errichtungshandbücher (für HST 114 & 120 und ST 98), Aktualisierung von Dokumenten	Gunnar Ewald
3	09.11.2023	Turbinen Konfiguration E-160 EP5 E3 R1 hinzugefügt, Aktualisierung von Dokumenten, Referenznr. 2022-0084	Gunnar Ewald

Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen	3
1.1	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2	Zugehörige Unterlagen.....	8
2	Prüfgrundlagen	10
3	Einleitung	10
4	Beschreibung der Windenergieanlage	11
4.1	Turbinen Konfiguration	11
4.2	Temperaturvariante	12
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	12
4.4	Mechanische Bremse E-160 EP5 E3	13
4.5	E-Brake System E-160 EP5 E3 R1	13
4.6	Laufzeitverlängerung.....	13
4.7	Sturmregelung.....	13
5	Durchgeführte Prüfung.....	14
5.1	Prüfmethodik	14
5.2	Anmerkungen	14
5.3	Prüfergebnisse	15
5.4	Schnittstellen	16
6	Auflagen.....	16
7	Offene Punkte	17
8	Schlussfolgerung	17

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
Rev. 7.0, Datum: 09.02.2022
- [1.1.2] ENERCON GmbH:
"Betriebsanleitung, Beschreibung und Bedienung
ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02415262/3.0-de
Rev. 3, Datum: 18.07.2022
- [1.1.3] Lagerwey Wind BV:
"EP5-E3 Description Operation and Safety System"
Dok. ID: M00-C2-40-050403-R1
Rev. 1, Datum: 16.11.2021
- [1.1.4] Lagerwey Wind BV:
"EP5-E3 Control system safety"
Dok. ID: M00-C2-40-050404-R1
Rev. 1, Datum: 10.11.2021
- [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: 25.10.2021
- [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: 25.10.2021
- [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: 25.10.2021

- [1.1.9] Lagerwey Wind BV:
"Wind Turbine Control Check"
Dok. ID: M00-C2-40-050102-R4
Rev. 4, Datum: 26.08.2021
- [1.1.10] Lagerwey Wind BV:
"EP5 WTG Safety System FMEA"
Dok. ID: M00-C2-40-050305-R1
Rev. 1, Datum: 27.07.2021
- [1.1.11] Lagerwey Wind BV:
"EP5 E3 Yaw System FMEA"
Dateiname: D02487311_0.0-en EP5 E3 Yaw System FMEA.xlsx
Datum: 29.07.2021
- [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: 08.10.2021
- [1.1.13] Lagerwey Wind BV:
"Safety and Function Test"
Dok. ID: M00-C2-30-050094-R6
Rev. 6, Datum: 29.08.2021
- [1.1.14] ENERCON GmbH:
"Functional turbine specification E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02274526 (ehemals M00-C2-30-10988)
Rev. 5, Datum: 30.01.2023
- [1.1.15] Lagerwey Wind BV:
"Software quality assurance plan"
Dok. ID: M00-C2-30-050145-R3
Rev. 3, Datum: 28.01.2021
- [1.1.16] Lagerwey Wind BV:
"Finite State Machine"
Dok. ID: M00-C2-30-050073-R13
Rev. 13, Datum: 10.09.2021
- [1.1.17] Lagerwey Wind BV:
"Parameter structure description"
Dok. ID: M00-C2-30-050074-R8
Rev. 8, Datum: 24.09.2020
- [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: 28.10.2021

[1.1.19] 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: 28.03.2019

[1.1.20] ENERCON GmbH:

„Safety System Description, Anforderungsspezifikation
RS0000011-SafetyRS EP-SCS-03“
Dok. ID: D02254818/6.2
Rev. 6.2, Datum: 20.06.2023

[1.1.21] ENERCON GmbH:

„Betriebsanleitung, Beschreibung und Bedienung ENERCON
Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02798820/3.1
Rev. 3.1, Datum: 29.06.2023

[1.1.22] ENERCON GmbH:

„Fehlermodes Control System E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02926654/0.0
Rev. 0.0, Datum: 06.07.2023

[1.1.23] ENERCON GmbH:

„Technical description
ENERCON E-160 EP5 E3 R1 / 5560 kW wind energy converter“
Dok. ID: D02730135/2.0
Rev. 2.0, Datum: 17.03.2023

[1.1.24] ENERCON GmbH:

„System-FMEA des Sicherheitssystems EP-SCS-03“
Dateiname: D02816418_2.0-de_System-FMEA für E-175 EP5 und E-160 EP5
E3 R1 (FMEA).xlsx
Datum: 26.06.2023

[1.1.25] ENERCON GmbH:

„Teilsystem FMEA für das Windnachführsystem der EP5 mit EP-SCS-03 und
acht Antrieben“
Dateiname: D02832942_0.0-de_FMEA Teil-System_Yaw-System-E-175 EP5
E-160 EP5 E3 R1.xlsx
Datum: 11.05.2023

[1.1.26] ENERCON GmbH:

„Last-FMEA der Anlage E-160 EP5 E3 R1“
Dateiname: D02936720_0.0_en_Technischer Bericht_System FMEA Lasten
E-160 EP5 E3 R1.xlsx
Datum: 18.08.2023

[1.1.27] ENERCON GmbH:

„Subsystem-FMEA of automatic positioning / rotor locking“

Dateiname: D02713926_2.3-en_FMEA Teil-System Automatic positioning rotor locking.xlsx

Datum: 12.05.2023

[1.1.28] ENERCON GmbH:

„V&V Plan NG CS Wind Energy Converter E-175 EP5 & E-160 EP5 E3 R1“

Dok. ID: D02922331/2.0

Rev. 2.0, Datum: 18.08.2023

[1.1.29] ENERCON GmbH:

„WEC test plan NGCS Next Generation Control System,

Test plan Safety & Function Tests, WEA Type E-175 EP5 & E-160 EP5 E3 R1“

Dok. ID: D02916185/1.0

Rev. 1.0, Datum: 18.08.2023

Handbücher

[1.1.30] ENERCON GmbH:

"Verladehandbuch EP5"

Dok. ID: D02109115/5.1

Rev. 5.1, Datum: 08.08.2022

[1.1.31] ENERCON GmbH:

"Verladehandbuch Stahltürme (ST/MST/HST)"

Dok. ID: PLM-TES-DC026-VH_Stahlurm-Rev002de-de/

Rev. 2, Datum: 23.07.2020

[1.1.32] ENERCON GmbH:

"Inbetriebnahmeanleitung, Inbetriebnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3"

Dok. ID: D02402539

Rev. 0, Datum: 18.06.2021

[1.1.33] ENERCON GmbH:

"Wartungsanleitung, Hauptwartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3"

Dok. ID: D02406226

Rev. 1, Datum: 31.08.2021

[1.1.34] ENERCON GmbH:

"Inbetriebnahmeanleitung, 300 h-Wartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3"

Dok. ID: D02408552

Rev. 1, Datum: 26.08.2021

[1.1.35] ENERCON GmbH:

"Montageanleitung, Vormontage und Montage Gondel Windenergieanlage E-160 EP5 E3 Zertifizierungsanleitung"

Dok. ID: TD-esc-08-de-de-21-051

Rev. 0, Datum: 22.06.2021

- [1.1.36] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montage Stahlrohrturm (ST) u.Stahlsektion (HT)"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-16-015
Rev. 6, Datum: 24.08.2022
- [1.1.37] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montageanleitung Hybridturm (HT)"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-15-001
Rev. 16, Datum: 22.01.2022
- [1.1.38] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung, Generelle Montageanleitung Hybrid-Stahlurm (HST)"
Dok. ID: TD-gccs-08-de-de-21-079
Rev. 3, Datum: 23.09.2022
- [1.1.39] ENERCON GmbH:
"Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften"
Dok. Nr.: BA_bl_1001-1_Gesundheits-, Arbeits- und
Umweltschutzvorschriften_WEA-Service_Rev001_de-de
Rev. 1, Datum: 12.12.2019
- [1.1.40] ENERCON GmbH:
"Minimum Bolting Specification, E-160 EP5 E3-ST-98-FB-C-01"
Dok. ID: D02334948/2.1-en
Rev. 2.1, Datum: 10.08.2022
- [1.1.41] ENERCON GmbH:
"Montageanleitung Montage Stahlrohrturm E-160 EP5 E3-ST-98-FB-C-01"
Dok. ID: TD-gccs-08-de-de-22-057
Rev. 0, Datum: 10.08.2022
- [1.1.42] ENERCON GmbH:
"Minimum Bolting Specification HST"
Dok. ID: D02277340
Rev. 5.1, Datum: 04.04.2023
- [1.1.43] ENERCON GmbH:
"Technische Anweisung Scruton-Wendel am Turm montieren"
Dok. ID: TD-gccs-01-de-de-21-002
Rev. 003a, Datum: 06.10.2022
- [1.1.44] ENERCON GmbH:
"Minimum Bolting Specification ST"
Dok. ID: D02643839
Rev. 2.0, Datum: 22.03.2023
- [1.1.45] ENERCON GmbH:
„Inbetriebnahmeanleitung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02795928
Rev. 1.0, Datum: 16.03.2023

- [1.1.46] ENERCON GmbH:
„Inbetriebnahmeanleitung 300 h-Wartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3R1“
Dok. ID: D02798507
Rev. 0.0, Datum: 05.12.2022
- [1.1.47] ENERCON GmbH:
„Wartungsanleitung Hauptwartung Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02798520
Rev. 1.0, Datum: 16.03.2023
- [1.1.48] ENERCON GmbH:
„Technische Beschreibung Systembeschreibung APLS - Automatic positioning and locking system“
Dok. ID: D02915626
Rev. 0.0, Datum: 23.06.2023
- [1.1.49] ENERCON GmbH:
„Montageanleitung Vormontage und Montage Gondel Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02796652
Rev. 1.0, Datum: 14.06.2023
- [1.1.50] ENERCON GmbH:
„Montageanleitung Generelle Montage EP3-Stahlurm und EP5-Stahlurm“
Dok. ID: TD-gccs-08-de-de-20-102
Rev. 002, Datum: 24.08.2022
- [1.1.51] ENERCON GmbH:
„Montageanleitung Montage Stahlsektionen Hybridurm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01“
Dok. ID: TD-gccs-08-de-de-22-011
Rev. 003, Datum: 28.11.2022
- [1.1.52] ENERCON GmbH:
„Betriebsanleitung ENERCON Betriebsmittel Rotorblatтарretierungseinheit E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02950744/0.3
Rev. 0.3, Datum: 11.10.2023

1.2 Zugehörige Unterlagen

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
"Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations"
Dok. ID: D02274524 (ehemals M00-C2-30-10480)
Rev. 4.0, Datum: 14.12.2022
- [1.2.2] TÜV Rheinland Industrie Service GmbH:
"Certificate Product tested: Pitch Inverter for Wind Turbines"
Dokument Nr.: 968_FSP_1188_04_21
Datum: 06.04.2021

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
"Reglerbeschreibung E-160 EP5 E3"
Dok. ID: D02342195-6.0
Rev. 6.0, Datum: 10.06.2022
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
"Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01"
Dok. ID: D02630078_1.0
Datum: 27.06.2022
- [1.2.5] ENERCON GmbH:
"Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-ST-98-FB-C-01"
Dok. ID: D02334957_0.0
Datum: 16.04.2021
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
"Arbeitsanleitung, Generelle Information zu Verschraubungswerkzeugen"
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-14-014
Rev. 7, Datum: 23.11.2022
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
"Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01 &
E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-02"
Dok. ID: D02673772
Rev. 0, Datum: 16.09.2022
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
"Building Document Foundation Basket E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01"
Dok. ID: D02581531
Rev. 1.1, Datum: 15.03.2023
- [1.2.9] ENERCON GmbH:
"Spannanweisung Fundamentkorb E-160 EP5 E3-HST-114-FB-C-01"
Dok. ID: D02395433-0.0
Rev. 0.0, Datum: 05.11.2021
- [1.2.10] ENERCON GmbH:
„Reglerbeschreibung E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02779175-0.0
Rev. 0.0, Datum: 14.10.2022
- [1.2.11] ENERCON GmbH:
„Verkabelungsanleitung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02719188
Rev. 0.0, Datum: 16.12.2022
- [1.2.12] ENERCON GmbH:
„Safety-Parameter ENERCON E-160 EP5 E3 R1“
Dok. ID: D02868845
Rev. 0.2, Datum: 22.06.2023

[1.2.13] ENERCON GmbH:

„Load Case Description IEC ed. 4 + DIBt 2012“
Dok. ID: D02866753
Rev. 0.1, Datum: 26.03.2023

[1.2.14] ENERCON GmbH:

„SISTEMA - Sicherheit von Steuerungen an Maschinen, ENERCON Safety Control System EP-SCS-03 EP5“
Prüfsumme: 06dab42ae538d1f90927970ba4970839
Dok. ID: D02933611
Rev. 0.0, Datum: 02.08.2023

[1.2.15] TÜV Rheinland Industrie Service GmbH

„Certificate Product tested: PitchOne Pitch-Servocontroller“
Dok. ID: 968/FSP 2400.00/22
Rev. -, Datum: 31.03.2022

[1.2.16] KEBA Industrial Automation Germany GmbH

„PitchOne Betriebsanleitung, Pitch-Servoregler“
Dok. ID: D0918644 (Id.-Nr.: 1790.001B.2-00)
Rev. 6.0, Datum: 05/2022

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 IEC 61400-1 (VDE 0127-1):2019-12:
"Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019)"
Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019 (Edition 4)

3 Einleitung

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 E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 Plattform sind dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 5560 kW. Die Turbinen funktionieren nach dem Prinzip variable Leistung durch Einzelblattverstellung. Die Turbinen sind getriebelos, 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, siehe Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2:

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)	Stahlurm (ST)		Hybridurm (HT) 166 m	Hybrid Stahlurm (HST) 114 m	Hybrid Stahlurm (HST) 120 m
	98 m	99 m			
Drehzahlgrenze Betriebsführung (n_4) [U/min]	10.81	11.04	10.58	10.81	11.04
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem (n_A) [U/min]	11.75	12.00	10.81	11.75	12.00
Einschaltwindgeschw.	2.5 m/s				
Nennwindgeschw.	12.4 m/s				
Abschaltwindgeschw.	28 m/s (10 Minuten Mittelwert) Sturmregelung ab 22 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				

Tabelle 4.1: Turbinen Konfigurationen E-160 EP5 E3

Typ	E-160 EP5 E3 R1		
Windklasse	IEC III A, IEC S, DIBt WZ S		
Nennleistung	5560 kW		
Rotorblatt (Durchmesser)	LM 78.3 P (160 m)		
Turmtyp (Nabenhöhe)	Stahlurm (ST)		Hybrid Stahlurm (HST) 120 m
	98 m	99 m	
	Stahlurm (ST) 98 m, 99 m		Hybrid Stahlurm (HST) 114 m

Typ	E-160 EP5 E3 R1		
Drehzahlgrenze Betriebsführung (n ₄) [U/min]	11.52	11.52	11.52
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem (n _A) [U/min]	12.00	12.00	12.00
Einschaltwindgeschw.	2.5 m/s		
Nennwindgeschw.	12.4 m/s		
Abschaltwindgeschw.	28 m/s (10 Minuten Mittelwert) Sturmregelung ab 22 m/s (12 Sekunden Mittelwert)		
Controller Hardware	KEBA		
Controller Softwareversion	PICS, V1.09.0		
SPS Hersteller	Phoenix		
Safety Softwareversion	EP-SCS-03, V1.20.000		
Temperaturvariante	STW		
Generator	Direkt angetrieben		
Pitchsystem	AC Motoren mit Kondensator für jedes Blatt		
E-Brake mit APLS	System zum automatischen Positionieren und Arretieren des Rotors (siehe Kapitel 4.5)		
Design Lebensdauer	25 Jahre		

Tabelle 4.2: Turbinen Konfigurationen E-160 EP5 E3 R1

4.2 Temperaturvariante

Die Windenergieanlagen der EP5 E3 Plattform gibt es in folgender Temperaturvarianten:

Temperaturvariante:	Normaler Temperaturbereich:	Extremer Temperaturbereich
Standard Weather Edition (STW)	-10 °C bis +40 °C	-20 °C bis +50 °C

Tabelle 4.3: Temperaturvarianten

Die gültigen Temperaturvarianten für jede Konfiguration sind in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 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
- Überwachung der Kabelverdrillung
- Generatorüberlastung oder - Fehler
- Kurzschluss
- Überwachung des Pitchsystems
- Überwachung des Betriebsführungssystems

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 E-160 EP5 E3

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 E-Brake System E-160 EP5 E3 R1

Die E-Brake mit APLS (Automatic Positioning and Locking System) ist eine Rotorbremse, die ihre Bremswirkung durch einen kontrollierten Kurzschluss des Generators erzeugt. Die E-Brake kann den Generator-Rotor in einen Kriechmodus bringen, d. h. nahezu zum Stillstand. Darüber hinaus wird das APLS zur automatischen Positionieren und Arretieren des Rotors genutzt. Dabei wird mit Hilfe der Leistungsumrichter Energie in den Generator eingespeist, so dass dieser im Motor-Betrieb den Rotor antreibt. Beim Erreichen der vorgewählten Position wird der Rotor in dieser gehalten und die Rotorarretierungsbolzen Elektrisch eingefahren. Eine Alternative zum automatischen Positionieren ist die manuelle Positionierung durch die Verstellung der Rotorblattwinkel.

4.6 Laufzeitverlängerung

Für die Windenergieanlagen der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 Plattform besteht die Option einer verlängerten Lebensdauer von bis zu 25 Jahren. 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 [1.1.2] und [1.1.21].

4.7 Sturmregelung

Die Sturmregelung ermöglicht den Betrieb der Windenergieanlage bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten, indem die Rotordrehzahl und damit auch die Leistungsabgabe linear auf Null reduziert wird. Der Beginn der Sturmregelung liegt bei 22 m/s Windgeschwindigkeit (12-Sekunden-Mittelwert), das Maximum bei 32 m/s (12-Sekunden-Mittelwert) [1.2.3]. Die Abschaltwindgeschwindigkeit bei aktiver Sturmsteuerung beträgt 28 m/s (10-Minuten-Mittelwert) [1.1.2] und [1.1.21].

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.

Die sicherheitsrelevanten Teile des Pitchumrichters wurden nach IEC 13849-1 separat zertifiziert, für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 hat das Zertifikat [1.2.2] eine Gültigkeit bis zum 06.04.2026, für die E-160 EP5 E3 R1 hat das Zertifikat [1.2.15] eine Gültigkeit bis zum 31.03.2027.

Die lastrelevanten Parameter, z.B. Drehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeiten oder Pitchgeschwindigkeiten, sowie die Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden für die E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 Varianten auf Übereinstimmung mit den Annahmen aus der Lastrechnung überprüft.

Es wurde überprüft, ob die in 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 Konformität

Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] genannten technischen Anforderungen IEC 61400-1 Ed. 2 oder Ed. 3, wurde hier IEC 61400-1 Ed. 4 [2.2] verwendet.

5.2.2 Haftungsausschluss

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

5.2.3 Gültigkeit der Dokumente

Für die Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform 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.

5.2.4 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Die Fehlerlastfälle aus der FMEA werden gemäß den Anforderungen der DIN EN 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 DIN EN 61400-1 Edition 3 zur Edition 4 gültig ist.

5.2.5 Pitchumrichter

Für die Pitchumrichter der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 Plattform gibt es separate Zertifikate nach IEC 13849-1. Für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 hat das Zertifikat eine Gültigkeit bis zum 06.04.2026 [1.2.2], für die E-160 EP5 E3 R1 hat das Zertifikat eine Gültigkeit bis zum 31.03.2027 [1.2.15].

5.3 Prüfergebnisse

5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems ist geeignet den sicheren Betrieb der Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform, siehe Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2, zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

5.3.2 Qualitätssicherung

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der Windenergieanlagen der ENERCON EP5 Plattform zu verringern. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA). Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler sind in [1.1.10] - [1.1.12] und [1.1.24] - [1.1.27] beschrieben.

5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

- | | |
|---|--------------------------------------|
| – Schutz vor Überdrehzahl / aerodynamische Bremse | – Generatorüberlastung oder - Fehler |
| – Not-Halt | – Kurzschluss |
| – Kabelverdrillung | – Fehler im Pitchsystem |
| – Übermäßige Vibration / Schock | – 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] und [1.1.20] erreicht. Die Schutzfunktionen erfüllen die Anforderungen der EN ISO 13849-1.

5.3.4 Cyber Security

Die Fähigkeit Angriffe auf die Sicherheitsfunktionen mit hinsicht auf Cyber Security wurde durch die Cyber-Risikoanalyse [1.1.19] und den definierten Maßnahmen

hinreichend demonstriert.

5.3.5 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 Not-Halt-Tasters.

5.3.6 Handbücher

Die Handbücher und Checklisten für Transport, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung sind verfügbar und enthalten die erforderlichen Informationen in geeigneter Weise. Sicherheitshinweise wurden für vorhersehbare Gefahren gegeben.

Die allgemeinen Errichtungsbedingungen für den Stahlturm (ST), Hybridturm (HT) und Hybrid-Stahlturm sind in [1.1.36], [1.1.37] und [1.1.38] beschrieben. ENERCON bestätigt, dass die in [1.2.7] dokumentierte Nachspannung der Ankerbolzen des ST-99 Turms ein Jahr nach dem ersten Nachspannen der Ankerbolzen durchgeführt wird.

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 und E-160 EP5 E3 R1 überprüft.

6 Auflagen

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

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.

- 6.2 Für die Windenergieanlagen der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 Plattform besteht die Option einer verlängerten Lebensdauer von bis zu 25 Jahren. 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).

7 Offene Punkte

Keine

8 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 spezifizierten Windenergieanlagen der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 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 an das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie die Handbücher der in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 spezifizierten Windenergieanlagen sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Kapitel 6 konform zur DIBt-Richtlinie [2.1].

erstellt:



Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald

freigegeben:



Dipl.-Ing. L. Klüppel

GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME

ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1

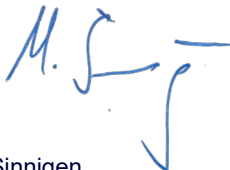

- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -



TÜV NORD Berichtsnr.: GS-8120863590-005-002-00

Datum: 2023-10-04

Umfang der Bewertung	Design-Bewertung der elektrischen Anlage sowie des Blitzschutzsystems der Windenergieanlagen ENERCON E 160 EP5 E3 und E 160 EP5 E3 R1 nach dem Zertifizierungsschema IEC 61400-22 in Verbindung mit den technischen Anforderungen der IEC 61400-1, ed. 4 sowie der IECRE OD 501-7.
Zertifizierungssystem	IEC 61400-22 IEC 61400-1 (4th Ed.) IECRE OD 501-7
Kunde	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Germany

Zuständige(r) Sachverständige(r):	Freigegeben:
 Markus Sinnigen	 Holger Grafe

Herausgeber

TÜV NORD CERT GmbH • Am TÜV 1 • 45307 Essen
Telefon: +49 201 825-0 • Fax: +49 201 825-2517
info.tncert@tuev-nord.de • www.tuev-nord-cert.com
Geschäftsführung: Dipl.-Ing. Wolfgang Wielpütz, Dipl.-Oec. Sandra Gerhartz
Amtsgericht Essen • HRB 9976
USt.-IdNr.: DE 811389923 • Steuer-Nr.: 111/5706/2193

Urheberrechtshinweis

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.

Die Bilder sind urheberrechtlich geschützt. Das Nutzungsrecht ist auf eine einmalige Veröffentlichung, ausschließlich für den vereinbarten Zweck, beschränkt. Alle weiteren Veröffentlichungen sowie die Verbreitung der Bilder, auch auszugsweise, bedürfen einer ausdrücklichen schriftlichen Zustimmung der ENERCON GmbH.

ÄNDERUNGSHISTORIE

Rev.	Datum	Änderungen	Referenz-Nr.	Sachverständige(r)
0	20yy-mm-dd	Erste Fassung	2022-0084 2022-0224-07	Markus Sinnigen

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

DoC	Declaration of Conformity (Konformitätserklärung)
GS	Gutachtliche Stellungnahme
LVD	Low-voltage distribution (Niederspannungsverteilung)
NSV	Niederspannungsverteilung
WEA	Windenergieanlage

INHALTSVERZEICHNIS

1	Dokumente	6
1.1	Geprüfte Dokumente - Systembeschreibung	6
1.2	Geprüfte Dokumente - Generator	6
1.3	Geprüfte Dokumente - Leistungsumrichter	6
1.4	Geprüfte Dokumente - Transformator	7
1.5	Geprüfte Dokumente - Mittelspannungsschaltanlage	8
1.6	Geprüfte Dokumente - Elektrischer Pitchantrieb	8
1.7	Geprüfte Dokumente - Ladegeräte und Batteriespeicher	9
1.8	Geprüfte Dokumente - Schleifringübertrager	10
1.9	Geprüfte Dokumente – Elektrischer Azimutantrieb	10
1.10	Geprüfte Dokumente - Blitzschutz	10
1.11	Geprüfte Dokumente – Kabel und sonstige elektrisches Ausrüstung	11
1.12	Geprüfte Dokumente - Schaltpläne	12
1.13	Mitgeltende Dokumente	14
2	Angewandte Normen	15
2.1	Zertifizierungsprogramm	15
2.2	Produkt- / technische Anforderung	15
3	Einleitung	16
4	Beschreibung der Windenergieanlage/Komponente	16
4.1	WEA Konfigurationen	16
4.2	Design Basis	16
4.3	Umweltbedingungen	16
4.4	Blitzschutz	17
4.5	Elektrische Anschlussbedingungen	17
4.6	Beschreibung der Komponenten	17
4.6.1	Generator	17
4.6.2	Leistungsumrichter	19
4.6.3	Transformator	19
4.6.4	Mittelspannungsschaltanlage	21
4.6.5	Pitchmotor	21
4.6.6	Pitchumrichter	22
4.6.7	Energiespeicher	22
4.6.8	Schleifring	23
4.6.9	Azimutmotor	23
5	Durchgeführte Prüfungen	24
5.1	Prüfmethode	24
5.2	Prüfanmerkungen	24
5.3	Prüfergebnis	25
5.4	Schnittstellen	30

6 **Auflagen 30**

7 **Offene Punkte 31**

8 **Zusammenfassung 31**

1 DOKUMENTE

1.1 Geprüfte Dokumente - Systembeschreibung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.1]	ENERCON	Functional Turbine specification E-160 EP5 E3	D02274526_5.0 (früher M00-C2-30-10988)	5.0	2023-01-30
[1.1.2]	ENERCON	Outline drawing – Nacelle E-160 EP5 E3	D02399059/0.1- de/en	-	2021-06-17
[1.1.3]	ENERCON	Insulation coordination evaluation EP5 E3 - Technical description	D02657309/1.0- en	1	2022-05-24
[1.1.4]	ENERCON	Insulation coordination evaluation EP5-E3-R1 - Technical description	D02810052/2.0- en	2.0	2023-06-20
[1.1.5]	ENERCON	EG/EU-Konformitätserklärung	D0376121_15	-	2022-01-10 (erhalten)

1.2 Geprüfte Dokumente - Generator

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.1]	ENERCON	Generator Data sheet E-160 E2 EP5-GU-01	M03-C2-30-050383-R0	R0	2021-01-14
[1.2.2]	Lagerwey	Generator E-160 E2 EP5-GU-01 Type Test Report	M03-C2-40-050374-R0	R0	2021-11-24
[1.2.3]	Lagerwey	Outline drawing – Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (stator base frame)	M03-C5-20-031805	C	2020-10-13
[1.2.4]	Lagerwey	Outline drawing – Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (stator lamination assy)	M03-C5-20-031784	B	2020-11-24
[1.2.5]	Lagerwey	Generator E-160 E2 EP5-GU-01 Heat Run	M03-C2-40-050405-R0	0	2022-06-13
[1.2.6]	ENERCON	Generator Data sheet E-160 E3 EP5-GU-02	M03-C2-30-050487-R0	R0	2022-12-23
[1.2.7]	ENERCON	Generator data sheet E-160 E3 EP5-GU-03	D02831720/0	0	2023-01-26
[1.2.8]	ENERCON	Generator type plate E-160 E3 EP5-GU-03	D022832861_0.0	0	2023-01-26 (erhalten)
[1.2.9]	ENERCON	Drawing generator unit E-160 E3 EP5-GU-03	D02928363/0.0	0	2023-07-17
[1.2.10]	ENERCON	Generator Rotor Connection Box 1 / E-160 EP5 E3 R1 STD	D02798124/0.0	0	2020-12-15
[1.2.11]	ENERCON	Generator Rotor Stator Cabinet with options	D02793998/0.0	0	2022-411-28
[1.2.12]	ENERCON	Similarity statement Generator E-160 EP5 E3 R1	D02927748_1.0	-	2023-07-26

1.3 Geprüfte Dokumente - Leistungsumrichter

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.3.1]	Lagerwey Wind BV	Technical Specifications - ACS880-77CC 2x(4+4) 6880A-5500A (eNac)	M12-C5-30-050370-R1	R1	2020-12-08
[1.3.2]	ABB	Hardware Manual – ACS880-77CC wind turbine converters (preliminary)	3AXD50000813605	A	2021-10-06
[1.3.3]	ABB	Dimension drawing – 4XINU+4XISU MASTER ACS880-77CC	3AXD50000634606	-	2020-05-27
[1.3.4]	ABB	Circuit diagram - ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Wind Turbine Drive	3AXD50000811922	B	2021-09-06
[1.3.5]	ABB	Circuit diagram - ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Wind Turbine Drive	3AXD50000811939	B	2021-09-06
[1.3.6]	ABB	EU Declaration of Conformity	3AXD10001415019	A	2021-09-06
[1.3.7]	ABB	ACS880-87CC-2580A_2400A-7 3+3 capacitor discharge type test report	3AXD10000782787	01	2021-09-05

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.3.8]	ABB	Routine Test Report - Master Drive ACS880-77CC-6880A/5500A-7	S/N: 8214300438	-	2021-10-18
[1.3.9]	ABB	Routine Test Report - Slave Drive ACS880-77CC-6880A/5500A-7	S/N: 8214301544	-	2021-10-18
[1.3.10]	ENERCON	Technical Specification ENERCON Powerboost Converter	D02875925/1.0	1.0	2023-03-15
[1.3.11]	ENERCON	Datenblatt Powerboost-Converter	D02798739_0.0	0	2023-03-15
[1.3.12]	ENERCON	Nameplate Powerboost-Converter	D02880862_0.1	0.1	2023-16 (erhalten)
[1.3.13]	ENERCON	Cooling process / Flow diagram	D02832311_0.0	-	2023-05-25 (erhalten)
[1.3.14]	ENERCON	Assembly Drawing Powerboost Converter	D02798546_0.0	0	2023-12-13
[1.3.15]	ENERCON	Test specification Power Boost 1	D02872479/0.0	2	2023-03-22

1.4 Geprüfte Dokumente - Transformator

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.4.1]	ENERCON	Transformer Specification – Wind energy converter E160 EP5 E2 5500 kW	PLM-EWES-SP045-S1 E-160 EP5 E2 5500 kW	-	2020-01-30
[1.4.2]	J. Schneider Elektrotechnik	Data sheet / Outline drawing – Transformer HPNW 6500A-2034T12001	782984 JS Trafo 6,5 33;0,69 KF L - 50Hz n5 ±2x5 V1	-	2020-10-06
[1.4.3]	J. Schneider Elektrotechnik	Test certificate – Three phase transformer HPNW 6500A-2034T12001	100011920	-	2020-12-03
[1.4.4]	J. Schneider Elektrotechnik	Data sheet / Outline drawing – Transformer HPNW 6500A-2035T10001	780149 JS Trafo 6,5 10;0,69 KF L - E 50Hz n5 +4x2,5 V1	-	2020-11-12
[1.4.5]	ENERCON	Transformer inside nacelle 6,2 / 6,5MVA	D0962785_7.0	7.0	2021-11-16
[1.4.6]	Siemens AG Österreich	Technical data sheet - TDU-653A03W6N-TU	D02276646_0.0	0	2021-01-25
[1.4.7]	Siemens AG Österreich	Technical data sheet - TDU-653A03W6N-TU	D02375306_1.0	4	2022-05-30
[1.4.8]	Siemens AG Österreich	Outline Plan - 6500 kVA - 33.00 / 0.69kV	D02693346_0.0	2	2022-03-16
[1.4.9]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	Heatrun Test – TDU-653A02S6A-TU	D02691303_0.0	-	2021-07-28
[1.4.10]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	Impulse Test – TDU-653A02S6A-TU	D02691307_0.	-	2021-07-29
[1.4.11]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	Partial Discharge measurement – TDU-653A02S6A-TU	D02691347_0.0	-	2021-07-29
[1.4.12]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	Noise level measurement (1) – TDU-653A02S6A-TU	D02691325_0.0	-	2021-07-29
[1.4.13]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	Noise level measurement (2) – TDU-653A02S6A-TU	D02691344_0.0	-	2021-07-29
[1.4.14]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	Zero sequence – TDU-653A02S6A-TU	D02691359_0.0	-	2021-07-29
[1.4.15]	Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz	EC Declaration of Conformity - TDU-653A03S6A-TU / 6500 kVA / 33 kV	D02693367_0.0	-	2021-12-22
[1.4.16]	SBG	Technical specification VEY21000 - DST 6200 H/30	D02355255_0.0	-	2021-04-27

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.4.17]	SBG	Outline drawing – DST 6500	D02693546_0.0	-	2022-01-28
[1.4.18]	SBG	Rating plate - DST 6500 H/20	2795279_621704_rating plate	-	2022-06-08 (erhalten)
[1.4.19]	SBG	Test Report – Routine Test - DST 6500 H/20	2795279_621704_Routineprüfung	-	2021-06-03
[1.4.20]	SBG	Test Report – Test of temperature-rise - DST 6500 H/20	2795279_621704_heat run	-	2021-06-02
[1.4.21]	SBG	Test Report – Lightning Impulse - DST 6500 H/20	2795279_621704_LI	-	2021-06-01
[1.4.22]	SBG	Test Report – Partial Discharge - DST 6500 H/20	2795279_621704_PD	-	2021-06-02
[1.4.23]	SBG	Test Report – Lightning Impulse - DST 6500 H/20	2795279_621704_LI	-	2021-06-01
[1.4.24]	SBG	Declaration of Conformity – DST 6500 /H42	D02695019_0.0	-	2016-12-07
[1.4.25]	ENERCON	Technical Specification - Transformer inside nacelle 6,2 / 6,5MVA 750V	D02697747-2.0	-	2022-06-10
[1.4.26]	Siemens Energy Austria GmbH	Manufacturer Certificate – E-160 EP5 E3 R1	D02888039_0.0	-	2023-04-03
[1.4.27]	SBG GmbH	Supplier Declaration – Manufacturing Possibility for transformers (6200/6500 kVA) used for EP5 E160-E3 R0/R1	D02889034_0.0	-	2023-04-06

1.5 Geprüfte Dokumente - Mittelspannungsschaltanlage

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.5.1]	ENERCON	Specification – V6 medium voltage switch gear	D1015798-2.0	2.0	2022-08-08
[1.5.2]	Siemens AG	Circuit diagrams - ENERCON RV - 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6	0030503224 / 10 A		2021-01-13
[1.5.3]	Siemens AG	Technische Beschreibung – Gasisolierte, metallgekapelte Mittelspannungsschaltanlage – 8DJH-318952	8DJH 24kV RRL ARS i10 V6 (SAP 790366)	-	2022-04-20
[1.5.4]	Siemens AG	Anlagenspezifikation – 8DJH-318952	D02188924_0.0	11.08.16	2020-12-07
[1.5.5]	Siemens AG	Katalog HA 40.2 Mittelspannungsschaltanlagen Typ 8DJH	D02665937_0.0	-	2017
[1.5.6]	Siemens AG	Circuit Diagram – 8DJH Switchgear 24,0 kV ENERCON RV – 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6	D02188927_1.0	-	2021-09-02
[1.5.7]	Siemens AG	Declaration of Conformity for Medium Voltage Switchgear 8DJH	D02709316_0.0	-	2022-01-11
[1.5.8]	Siemens AG	Test Certificate 8DJH	D02522702_0.0	-	2021-03-11
[1.5.9]	Ormazabal velatia	Circuit diagrams – V6 CGM3	E09288	03	2021-05-19
[1.5.10]	Ormazabal velatia	Circuit diagrams – V6 CGM3	E09306-1.0	04	2023-12-14 (erhalten)
[1.5.11]	Ormazabal	General Instructions cgm.3	IG-136-EN	13	2020-04-23
[1.5.12]	Ormazabal	Technical description cgm.3	D02375302_0.0	-	2022-04-11 (erhalten)
[1.5.13]	T&D Europe	T&D Europe WG4 – Position Paper on EU Directives	D02709318_0.0	07/2021	2022-04-11 (erhalten)

1.6 Geprüfte Dokumente - Elektrischer Pitchantrieb

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.6.1]	Lagerwey Wind BV	Design specification AC Servo pitch motors	M04-C5-30-10609-R0	R0	2018-12-13
[1.6.2]	KEB	Data Sheet Pitch Motor 7608000-4000	7608000-4000	2	2019-06-12
[1.6.3]	KEB	EU-Declaration of Conformity Servo motors Series-SM, 76	ENS_SM_E	-	2016-01

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.6.4]	KEB	Drawing KEB Antrieb 7608000-4000	10054310	-	2018-11-06
[1.6.5]	KEB	Servo motor, Instruction for use Installation pitch systems	20095783 EN 03 (translation)	03	2017-03
[1.6.6]	KEB	Instruction Manual Pitch Inverter P6	20095484	00	2016-10-07
[1.6.7]	TÜV Rheinland	Certificate Pitch Inverter for Wind Turbines – KEB Automation KG	968_FSP_1188_04_21_de_en_el -	-	2021-04-06, valid until 2026-04-06
[1.6.8]	TÜV Rheinland Industrie Service GmbH / KEB Automation KG	Revision List referred to on Certificate: 968_FSP_1188_04_21_de_en_el	968_FSP_1188_04_21_de_en_el 1.0	1.0	2021-03-26
[1.6.9]	KEB	EU-Declaration of Conformity, Inverter – type P6 - V2	RENS_P6_D	-	2016-02
[1.6.10]	KEB	EU-Declaration of Conformity, Inverter – yyP6Gxx-xxxx and yyP6Hxx-xxxx	ce_wp_rsafety-p6-e_en	-	2021-04
[1.6.11]	KEB	EU-Declaration of Conformity, Servo motor yySMxxx-xxxx and yy76xxx-xxxx	ce_gm_ens-sm-g_en	-	2018-12-28
[1.6.12]	KEB	EU Declaration of Conformity	ce_gm_ens-sm-h_en	-	2019.12
[1.6.13]	KEB	EU Declaration of Conformity	ce_wp_rens-p6-f_en	-	2019.01
[1.6.14]	Lagerwey Wind BV	Specifications - E160 Pitch Limit Switch	M04-C5-30-050333-R0	R0	2019-12-13
[1.6.15]	Lagerwey Wind BV	Specifications - EP5 Pitch Blade Encoder	M04-C5-30-050334-R0	R0	2019-12-13
[1.6.16]	ENERCON	Requirements Specification - Pitch Motor 45/180	D02735048/0.0	0	2022-07-15
[1.6.17]	ENERCON	Tender specifications – Blade encoder NG	D02435930/1.0	1	2021-09-13
[1.6.18]	Bonfiglioli	Motor datasheet – JB00029516 – PITCH	D02563703_0.0	0	2022-01-10
[1.6.19]	Bonfiglioli	Motor drawing BMD 132L	D02758556/0.0	01	2023-02-16 (erhalten)
[1.6.20]	Ingenieurbüro Hoffmann GmbH	Technical report – Pitch motor qualification (Enercon - pitch system)	D02922128_0.0	01	2023-06-28
[1.6.21]	Bonfiglioli	EC Declaration of Conformity	D02871452_0.0	-	2022-11-25
[1.6.22]	KEBA Industrial Automation Germany GmbH	Technisches Datenblatt Pitch Servo Drives	D0870504_0	2	2019-03
[1.6.23]	KEBA Industrial Automation Germany GmbH	Betriebsanleitung PitchOne - Betriebsanleitung Pitch-Servoregler	D0918644-3	-	2020-02
[1.6.24]	TÜV Rheinland Industrie Service GmbH	Certificate – PitchOne Servocontroller - Certificate- No.: 968/FSP 2400.00/22	D02663695_0.0	-	2020-02, valid until 2027-03-31
[1.6.25]	KEBA Industrial Automation Germany GmbH	Revision List referred to on Certificate No.: 968/FSP 2400.00/22	968_FSP_2400_00_22 RL_2022_11_11	1.2	2022-11-11

1.7 Geprüfte Dokumente - Ladegeräte und Batteriespeicher

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.7.1]	Maxwell	Datasheet 160 V module	3000246.6	-	2019-01-17 (erhalten)
[1.7.2]	Lagerwey Wind BV	E160-E2 ultracaps dimensioning	M04-C2-40-050376-R0	R0	2021-01-22
[1.7.3]	ENERCON	Requirements Specification – Energy Storage NG 2.0 - E-160 EP5 E3 R1	D02752632_1.0	1.01	2023-01-17
[1.7.4]	SECH SA	Product Datasheet 348V 6F module	D02735862_2.2	0	2022-08-11

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.7.5]	SECH SA	Manufacturing Drawing - M12S-348-0006	D02735864_1.0	1	2022-08-10
[1.7.6]	ENERCON	Technical Description - Dimensioning Proof E-160 EP5 E3 R1	D02768454_0.0	1.0	2023-01-08

1.8 Geprüfte Dokumente - Schleifringübertrager

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.8.1]	Lagerwey Wind BV	Specification Slip Ring Unit 25 Rings Hybrid with Ethernet	M04-C5-30-050328-R1	R1	2021-04-06
[1.8.2]	Moog Rekofa GmbH	Technical description – Slip Ring Assembly	F 5927D	-	2020-07-07 (erhalten)
[1.8.3]	Moog Rekofa GmbH	Drawings – Slip Ring Transmitter	F 5927D	-	2020-04-28 (erhalten)
[1.8.4]	Moog Rekofa GmbH	Drawings – Slip Ring Transmitter	F 5927D CC	-	2021-03-08
[1.8.5]	ENERCON	Technical Specification – Slip Ring Unit EP5-001-BH0-ENC0-FORJ	D02715959_2.0	2.0	2022-12-19
[1.8.6]	ENERCON	Assembly circuit diagram – Slip Ring Unit EP5-001-BH0-ENC0-FORJ	D02734965_0.2	-	2022-12-13
[1.8.7]	Deublin – Hoerbiger Rotary Solutions	Interface Control Drawing – SR 10 CH + FORJ	D02814760_0.0	A	2022-10-20
[1.8.8]	Deublin – Hoerbiger Rotary Solutions	Declaration of Conformity – SR 1055	D02888081_0.0	-	2023-04-04
[1.8.9]	Everaxis	Technical Specification – Slip rings 10 ring + FORJ	D02791639_0.0	6	2022-11-28
[1.8.10]	Everaxis	Outline Drawing – Slip rings 10 ring + FORJ	D02791637_0.0	02	2022-11-17
[1.8.11]	Everaxis	Technical Specification – Slip rings 10 ring + FORJ	D02791638_0.0	04	2022-11-29
[1.8.12]	Everaxis	Declaration of Conformity – Slip rings 10 ring + FORJ	D02911594_0.0	0	2023-05-05

1.9 Geprüfte Dokumente – Elektrischer Azimutantrieb

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.9.1]	ENERCON	Spezifikation Dezentrale Azimutantriebe 5,5 kW Document-No.: Rev. 2, dated	D0971605-1	2	2021-03-05
[1.9.2]	Nord Drive Systems	NORDAC FLEX (SK 200E ... SK 235E) –Manual for Frequency Inverters	Nord_SK-200E-751-340-A-C_datasheet	-	2021-11-10 (erhalten)
[1.9.3]	ENERCON	Outline drawing – Yaw Motor TPC-5.5kW-38x80-FF265-50.8	D02168397/0.0-de/en	-	2021-03-08
[1.9.4]	Getriebebau Nord	Motor Data Sheet 132SP/4 BRE60 PT1000	Motor Data Sheet_ENERCON_Azimutmotor EP5_NC_EN_2020-08-06	-	2020-08-06
[1.9.5]	ENERCON	NG-Yaw motor - Requirements Specification	D02318193/2.0	2.1	2021-11-24
[1.9.6]	Bonfiglioli	Motor datasheet – JB00025049 – YAW Document-No.: BUINS_BMR_UT_DTS_018	D02628771_0.0	0	2022-02-14
[1.9.7]	Bonfiglioli	Motor drawing BMD 132L	D02583714/1.0	A	2022-05-10
[1.9.8]	Ingenieurbüro Hoffmann GmbH	Measurement report - Qualification of the Bonfiglioli prototype on the Siemens S120, with the motor module 18A type D (Enercon - yaw system) – Report-No.: 132-2022	D02630739_1.0	02	2022-11-29
[1.9.9]	Bonfiglioli	EC Declaration of Conformity	D02553242_1.0	1	2022-11-25

1.10 Geprüfte Dokumente - Blitzschutz

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.10.1]	LM Wind Power	Technical Data Sheet SafeReceptor, Insulated Lightning Protection System (ILPS/ILPS2)	TX-01903/A2	-	2014-05-27
[1.10.2]	Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH	Evaluation Report, Safe Receptor, Insulated Lightning Protection System	74163-24	2	2014-01-29
[1.10.3]	DNV GL Renewables Certification	Component Certificate, Safe Receptor, Insulated Lightning Protection System (ILPS)	CC-DNVGL-SE-0074-04682-2	-	2019-04-30, valid until 2024-04-29
[1.10.4]	Germanischer Lloyd	Statement of Compliance SAFE Receptor, Insulated Lightning Protection System	DAA-GL-027-2010	2	2014-01-29
[1.10.5]	Lagerwey	Schematics lightning protector weather station v1.3	0001	1.0	2015-02-24
[1.10.6]	Bureau Veritas Certification France	Gutachtliche Stellungnahme Design Prüfung – LM 78.3 P Rotorblatt	190061-DE-BLA-02-1	1	2020-05-28
[1.10.7]	ENERCON	Technische Beschreibung – Blitzschutz	D0260891-18	18	2023-04-25
[1.10.8]	ENERCON	Duct and lightning plan – Flat foundation (E-160 EP5 E3)	D0983184-0	-	2020-07-15
[1.10.9]	ENERCON	Duct and lightning plan – Pile foundation (E-160 EP5 E3 R1)	D02636885-1	1	2023-01-12
[1.10.10]	ENERCON	Duct and lightning plan – Flat foundation (E-160 EP5 E3 R1)	D02573627-1	1	2023-01-12

1.11 Geprüfte Dokumente – Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.11.1]	Prysmian Group	Datasheet – WINDFLEX GLOBAL S-3GSHOEU 1,8/3 kV	1800-3000V_Flexibel_D0825385-0_Cu_Prysmian_Windflex_Global_S-3GSHÖU_unscreened_en_rev1.pdf	-	2020-12-01
[1.11.2]	Prysmian Group	Datasheet – TECWIND H07BN4-F / S07BN4-7	D0562370-0	-	2016-10-06
[1.11.3]	ENERCON	Cable layout ABB > LVD EP5 E-Nacelle	D02561625_1.0_de_Layout plan_cable layout ABB - LVD EP5 E-Nacelle		2022-09-21
[1.11.4]	Prysmian Group	Datasheet – WINDFLEX-S (N)TSCGEHXOEU /3 20/35 kV	D0793217-0.pdf	-	2020-12-28
[1.11.5]	ENERCON	Verkabelungsanleitung – Windenergieanlage E-160 EP5 E3	D02794551/0.0-de / DC	0.0,	2023-12-14 (erhalten)
[1.11.6]	ENERCON	Specification – Pre-assembled MV Tower Cables Set	D1006722-5.0	5.0	2022-06-29
[1.11.7]	Lagerwey Wind BV	E160 E3 Auxiliary Transformer Specification 150 kVA 690-400 V	M03-C5-30-050428-R3	R3	2021-04-29
[1.11.8]	Lagerwey Wind BV	E160 E3 Auxiliary Transformer Specification 115 kVA 690-400 V	M03-C5-30-050441-R0	R0	2021-04-29
[1.11.9]	Lagerwey Wind BV	EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables – eNacelle	M09-C2-40-050402-R0	R0	2021-07-29
[1.11.10]	ENERCON	Statement switch over LVD EP5 R0 old/new Document-No.:	D02815256_0.0	0	2023-01-12
[1.11.11]	ENERCON	Calculation Report for LVD E-160 EP5 E3 Replacement	D02659410_0.0	0	2022-04-12
[1.11.12]	ENERCON	Assembly drawing – low voltage distribution for LVD EP5 Replacement	D02653522/1.0-de/en	1.0	2022-08-05
[1.11.13]	ENERCON	Assembly drawing – low voltage distribution for LVD EP5 Replacement	D02653827/1.0-de/en	1.0	2022-08-05
[1.11.14]	ENERCON	Assembly drawing – low voltage distribution for LVD Replacement 690V-6500kVA-80kA-V2 VAR	D02655373/2.0/-de/en	2.0	2022-10-14
[1.11.15]	ABB Laboratories Ratingen	Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST	D02719585_1.0	1.0	2022-06-23
[1.11.16]	ABB Laboratories Ratingen	Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST	D02719587_1.0	1.0	2022-06-23
[1.11.17]	ABB Laboratories Ratingen	Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST	D02719593_0.0	0.0	2022-06-01

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.11.18]	ABB Laboratories Ratingen	Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST	D02719597_0.0	0.0	2022-06-13
[1.11.19]	Eland Cables Limited	Datasheet - H07BN4-F (6381TQ) EN 50525-2-21 - Flexible Rubber Cable	D02629430_0.0_de-en	0.0	2023-01-17 (erhalten)
[1.11.20]	Prysmian Group	Datasheet – H07BN4-F FLEXTREME 90	D02629429_0.0_de-en	0.0	2019-05
[1.11.21]	Lagerwey Wind BV	TBCU light installation	D02343349_1.1 (früher: M06-C5-20-569084)	1.1	2022-10-07
[1.11.22]	ENERCON	Cable labeling for E-160 EP5 E3 R1 Generator-Converter	D02798922/0.0	0.0	2022-12-22
[1.11.23]	ENERCON	Cable labeling for E-160 EP5 E3 R1 LVD Grid-Converter	D02798582/0.0	0.0	2022-12-22
[1.11.24]	ENERCON	Layout drawing – Power cables grid E-160 EP5 E3 R1	D02797501_0.0	0.0	2022-12-12
[1.11.25]	ENERCON	Technical information design power cables nacelle E-160 EP5 E3 R1	D02782216_0.0	0.0	2022-11-14
[1.11.26]	Prysmian Group	Datasheet – Towerflex-AS Global A3GSHOEU-R 0,6/1KV	D02691019_0.0	0.0	2021-07-28
[1.11.27]	Prysmian Group	Datasheet – Towerflex-S Global 3GSGHOEU-K 0,6/1KV	D02748466_0.0	0.0	2022-08-10
[1.11.28]	Prysmian Group	Datasheet – Towerflex-AS Global A3GSHOEU-R 1,8/3KV	D02748707_0.0	0.0	2022-08-10
[1.11.29]	Prysmian Group	Datasheet – Towerflex-S Global 3GSGHOEU-K 1,8/3KV	D02748718_0.0	0.0	2022-08-10
[1.11.30]	ENERCON	Calculation Report for LVD Grid E-160 EP5 E3 R1	D02792471/0.1	0.1	2023-01-09
[1.11.31]	IPH Berlin	Test Report – LVD E-160 EP5 E3 R1	D02910681/0.0	-	2023-06-02
[1.11.32]	ENERCON	Technical Equipment Tower E-160 EP5 E3 R1	D02762345	1.0	2023-01-26
[1.11.33]	SBA-TrafoTech GmbH	Technical Datasheet Trenntransformator DTT - 100 kVA 750/400 V	D02764052_0.0	0.0	2022-04-28

1.12 Geprüfte Dokumente - Schaltpläne

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.12.1]	Lagerwey Wind BV	Tower options BB	M01-C5-20-558000 – B	B	2019-11-28
[1.12.2]	Lagerwey Wind BV	Nacelle options LP4	M02-C5-20-548002 – B	B	2019-11-28
[1.12.3]	Lagerwey Wind BV	Generator EP5 BB	M03-C5-20-530003 – E	E	2021-06-01
[1.12.4]	Lagerwey Wind BV	Hub EP5 BB	D02335410_2.0 (früher: M04-C5-20-520004 – E)	2.0	2021-07-22
[1.12.5]	Lagerwey Wind BV	Hub options LP4 BB	M04-C5-20-528010 – A	A	2019-11-28
[1.12.6]	ENERCON	Control Cabinet Transformer	D1020118_2.0	2	2022-01-20
[1.12.7]	ENERCON	Control Cabinet Transformer	D1015142_2.0	2	2022-01-20
[1.12.8]	Lagerwey Wind BV	Auxiliary power distribution box EP5 E3	D02344044_4.0 (früher: M02-C5-20-543001)	4	2022-03-27
[1.12.9]	Lagerwey Wind BV	Nacelle control box EP5 E3	D02344045_4.0 (früher: M02-C5-20-543010)	4	2022-04-07
[1.12.10]	Lagerwey Wind BV	Nacelle junction box	D02344047_1.1 (früher: M02-C5-20-543040)	1.1	2022-03-25
[1.12.11]	Lagerwey Wind BV	Light Installation E-Nacelle	M02-C5-20-543050-A-01	A01	2021-04-21

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.12.12]	Lagerwey Wind BV	Cooling control box EP5 E3	D02346192_3.0 (früher: M02-C5-20-543020)	3	2022-03-25
[1.12.13]	Lagerwey Wind BV	Auxiliary Transformer	D02348032_1.2 (früher: M02-C5-20-543070)	1.2	2022-10-07
[1.12.14]	Lagerwey Wind BV	Power Converter ACS880-77CC 2x(4+4)	D02348033_0.1 (früher: M02-C5-20-543081)	0.1	2021-04-28
[1.12.15]	Lagerwey Wind BV	Tower Control Box	D02343347_3.0 (früher: M06-C5-20-569006)	3.0	2022-03-30
[1.12.16]	Lagerwey Wind BV	Tower Control Panel	M06-C5-20-569015-B	B	2021-07-14
[1.12.17]	Lagerwey Wind BV	TBCU switchboard	D02343350_0.2 (früher: M06-C5-20-569124 - A	0.2	2021-04-23
[1.12.18]	Lagerwey Wind BV	Lightning Arrester Box	D02406591_1.0 (früher: M02-C5-20-543030 - A	1.0	2022-12-07
[1.12.19]	Lagerwey Wind BV	Weather station (2x NRG & 1x VA)	D02406593_0.1 (früher: M02-C5-20-543060-A-01	0.1	2022-03-25
[1.12.20]	Lagerwey Wind BV	Medium Voltage Transformer	D02406595_0.1 (früher: M02-C5-20-543100-A-KFWF-KDWF	0.1	2022-05-16
[1.12.21]	Lagerwey Wind BV	Transformer control cabinet	D024065978_0.1 (früher: M02-C5-20-543110-A	0.1	2022-03-25
[1.12.22]	Lagerwey Wind BV	Switchgear TBCU EP5	M06-C5-20-562019-A	A	2021-01-28
[1.12.23]	Lagerwey Wind BV	Switchgear Remote Control	M06-C5-20-569177-A	A	2021-01-28
[1.12.24]	ENERCON	Main Lightning Supply	D0984017-0	0	2020-07-16
[1.12.25]	ENERCON	Main Lightning Supply	D1027115-3.0	3.0	2022-10-17
[1.12.26]	Lagerwey Wind BV	Tower Top Connection Box	M01-C5-20-559201- B	B	2021-07-15
[1.12.27]	ENERCON	Low voltage distribution – Assembly Circuit Diagram	D1027205-1	1	2021-12-16
[1.12.28]	ENERCON	LVD Specification	D02378837-0	0	2021-04-04
[1.12.29]	ENERCON	LVD Replacement - Assembly circuit diagram	D1027344-0	0.0	2022-03-23
[1.12.30]	ENERCON	Circuit diagram - Pitch cabinet / E-160 EP5 E3 R1 blade A STD	D02798119_0.0	0.0	2022-12-12
[1.12.31]	ENERCON	Circuit diagram - Pitch cabinet / E-160 EP5 E3 R1 blade B STD	D02798120_0.0	0.0	2022-12-12
[1.12.32]	ENERCON	Circuit diagram - Pitch cabinet / E-160 EP5 E3 R1 blade C STD	D02798122_0.0	0.0	2022-12-12
[1.12.33]	ENERCON	Circuit diagram - Tower - Overview	D02876974/0.0	0.0	2023-03-07
[1.12.34]	ENERCON	Circuit diagram – Power generation - Overview	D0287699/0.0	0.0	2023-03-03
[1.12.35]	ENERCON	Circuit diagram – Rotor & Hub - Overview	D02876995/0.0	0.0	2023-03-03
[1.12.36]	ENERCON	Circuit diagram – Turbine control - Overview	D02876993/0.0	0.0	2023-02-28
[1.12.37]	ENERCON	Circuit diagram - LVD Grid Cabinet with rotor blade heating	D02782588/1.0	1.0	2023-02-24
[1.12.38]	ENERCON	Circuit diagram - LVD Grid Cabinet without rotor blade heating	D02782590/1.0	1.0	2023-02-24
[1.12.39]	ENERCON	Circuit diagram - LVD-Auxiliary Cabinet	D02799570/0.0	0.0	2022-12-15

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.12.40]	ENERCON	Circuit diagram - Main Distribution & Inverter Cabinet	D02799713/0.0-en	0.0	2022-12-15
[1.12.41]	ENERCON	Circuit diagram - Sub-Distribution Power Cabinet	D02809164/0.0	0.0	2022-12-20
[1.12.42]	ENERCON	Circuit diagram – Nacelle control Cabinet	D02808692/0.0	0.0	2022-12-19
[1.12.43]	ENERCON	Circuit diagram - Main Light Control Cabinet	D02782803/0.0	0.0	2022-10-26
[1.12.44]	ENERCON	Circuit diagram - Operator panel without options	D02789134/0.0	0.0	2022-11-17
[1.12.45]	ENERCON	Circuit diagram - Main rotor distribution box	D02798111/0.0	0.0	2022-12-12
[1.12.46]	ENERCON	Circuit diagram – UPS Cabinet (CBS)	D02799119/0.0	0.0	2022-12-14
[1.12.47]	ENERCON	Circuit diagram – Cooling Control Cabinet with option	D02795378/0.0	0.0	2022-12-01

1.13 Mitgeltende Dokumente

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.13.1]	ENERCON	Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations	D02274524_4.0 (former M00-C2-30-10480)	4.0	2022-12-14
[1.13.2]	Lagerwey Wind BV	Statement – Evaluation Process of Transformers Email, 13:06 h from Poodt, Marcel	RE: certification of E-136 Transformers	-	2021-07-07
[1.13.3]	Lagerwey Wind BV	EP5-E3 Description Operation and Safety System	M00-C2-40-050304-R1	R1	2021-11-16
[1.13.4]	ENERCON	Wartungsanleitung (Hauptwartung) –E-160 EP5 E3	D02406226/1	1	2021-08-31
[1.13.5]	ENERCON	Inbetriebnahmeanleitung (300h-Wartung) – E-160 EP5 E3	D02408552/1	1	2021-06-28
[1.13.6]	ENERCON	Technical Description – FRT (Fault-Ride through) Functions E-160 EP5 E3	D02522709/1.0-en	1	2021-10-26
[1.13.7]	ENERCON	Statement – Cold Climate Electrical Components	EP5 E3 Electrical components cold climate statement_01.pdf	-	2022-03-11
[1.13.8]	ENERCON	E-Mail, WG: Fragen aus der Typenprüfung E-160 EP5 E3 E-Mail , 12:56 h from Harald Wegmann (ENERCON)	Fragen aus der Typenprüfung E-160 EP5 E3	-	2022-08-04
[1.13.9]	ENERCON	E-Mail, AW: 2021-0042 Rev.2: ENERCON E-160 EP5 E3: E-System Updates + Insulation Study E-Mail., 12:13 h from Tim Keller (ENERCON)	AW: 2021-0042 Rev.2: ENERCON E-160 EP5 E3: E-System Updates + Insulation Study	-	2022-08-09
[1.13.10]	ENERCON	E-Mail, WG: ENERCON E-160 EP5 E2/E3 – Update Generator E-Mail, 16:55 h from T. Keller (ENERCON)	WG: ENERCON E-160 EP5 E2/E3 – Update Generator	-	2023-01-11
[1.13.11]	ENERCON	E-Mail, AW: [2022-0042] - ENERCON E-160 EP5 E3 - LVD Anpassung E-Mail, 15:36 h from M. Hempel (ENERCON)	AW: [2022-0042] - ENERCON E-160 EP5 E3 - LVD Anpassung	-	2023-01-08
[1.13.12]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report Wind Turbine ENERCON EP5 Platform - Electrical Equipment and Lightning Protection	8114242475-5 E	14	2023-01-18
[1.13.13]	ENERCON	E-160 EP5 E3 R1 Electrical System – Overview	E160 EP5 E3 R1_Electrical System_TÜV Kick Off.pdf	-	2023-01-26
[1.13.14]	ENERCON	Wartungsanleitung (Hauptwartung) – E-160 EP5 E3 R1	D02798520/1.0	1.0	2023-03-16

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.13.15]	ENERCON	Inbetriebnahmeanleitung (300h-Wartung) - E-160 EP5 E3 R1	D02798507/0.0-de	0	2022-12-15
[1.13.16]	ENERCON	Inbetriebnahme – E-160 EP5 E3 R1	D02795928/1.0	1.0	2023-03-16
[1.13.17]	ENERCON	Technical Data sheet – Grid performance FACTS 2.0	D02731630/2.1-en	2.1	2022-10-06
[1.13.18]	ENERCON	Anforderungsspezifikation - RS0000011-SafetyRS EP-SCS-03	D02254818/6.2	6.2	2023-06-20
[1.13.19]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Remarks - E-160 EP5 E3 R1	Evaluation Remarks Electrical System 2022-0084 Enercon E-160 EP5 E3 R1	10	2023-07-26

2 ANGEWANDTE NORMEN

2.1 Zertifizierungsprogramm

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.1.1]	IEC 61400-22 Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification	Ed. 1.0	2010-05
[2.1.2]	IECRE OD-501 Type and Component Certification Scheme	Ed. 2.0	2018-05-24

2.2 Produkt- / technische Anforderung

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.2.1]	Deutsches Institut für Bautechnik DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung	Okt. 2012, korr. 2015	2015-03
[2.2.2]	IEC 61400 1 Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements	4.0	2019-02
[2.2.3]	IECRE OD-501-7 Conformity assessment and certification of Main Electrical Components by RECB	Ed. 1	2019-03-08
[2.2.4]	IEC 60034-1 Rotating electrical machines, Part 1: Rating and performance	-	2010 + Cor.:2010
[2.2.5]	IEC 60204-1 Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements	-	2018
[2.2.6]	IEC 62477-1 Safety requirements for power electronic converter systems and equipment Part 1: General	-	2012 + A1:2016
[2.2.7]	IEC 60076-1 Power Transformers – Part 1: General	-	2011
[2.2.8]	IEC 62271-1 High-voltage switchgear and controlgear Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear	-	2017
[2.2.9]	IEC 61400-24:2010 Wind turbine generator systems, Part 24: Lightning protection	Ed. 2.0	2019-07
[2.2.10]	IEC 62305-1 Protection against lightning - Part 1: General principles	-	2011
[2.2.11]	IEC 62305-3 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard	-	2010, modified
[2.2.12]	IEC 60364-5-54 Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors	-	2011
[2.2.13]	IEC 60664-1 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems Part 1: Principles, requirements and tests	-	2007
[2.2.14]	IEC 60364-1 Low-voltage electrical installations Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions	-	2008
[2.2.15]	EN 61000-6-2 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments	-	2005

3 EINLEITUNG

Die vorliegende Bewertung basiert auf den Anforderungen der IECRE [2.1.2]. Im Hinblick auf die Bewertung des elektrischen Systems hat diese Norm keine detaillierten Anforderungen, daher wird auf die untergeordneten IECRE OD (IECRE OD-501-7) und die IEC 61400-1 [2.1.1] verwiesen. Das elektrische System wurde auf die Erfüllung der Anforderungen aus der IECRE OD-501-7 und der IEC 61400-1 (Kapitel 10, "Electrical System") bewertet.

Eine Bewertung des Sand- oder Staubeintrages und des Erdbebeneinflusses auf das elektrische System der WEA ist nicht Bestandteil der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme.

4 BESCHREIBUNG DER WINDENERGIEANLAGE/KOMPONENTE

4.1 WEA Konfigurationen

Diese Gutachtliche Stellungnahme gilt für die folgenden Konfigurationen der Windenergieanlage:

Konfig. Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	Umweltbedingungen	WEA-Klasse
1	E-160 EP5 E3	50 Hz	5.56 MW	160 m / LM 78.3 P	Stahl, Hybrid / 98 m - 166 m	STW	IIIa
2	E-160 EP5 E3 R1	50 Hz	5.56 MW	160 m / LM 78.3 P	Stahl, Hybrid / 98 m - 166 m	STW	IIIa

Tabelle 4.1: Abgedeckte WEA-Konfigurationen

Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA sind mit der E-Gondel ausgestattet, in der die wichtigsten elektrischen Komponenten wie Umrichter und Transformator untergebracht sind [1.1.1], [1.1.2]. Die Mittelspannungsschaltanlage befindet sich im Turmfuß. Für die E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 wurde eine Bewertung der Isolationskoordination durchgeführt [1.1.3], [1.1.4]. Das elektrische System des E-160 EP5 E3 und des E-160 EP5 E3 R1 ist gemäß IEC 61400-1 (Ed. 4.0) ausgelegt [2.2.1].

4.2 Design Basis

Die Design Basis [1.13.1] wurde von ENERCON vorgelegt. Das elektrische System sowie der Blitzschutz der E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 werden erwähnt. Aus den eingereichten Unterlagen geht hervor, dass die elektrische Anlage und der Blitzschutz der ENERCON EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA in Übereinstimmung mit der Design Basis ausgelegt sind.

4.3 Umweltbedingungen

Die Windenergieanlage wird folgende Umgebungsbedingung definiert:

Temperatur Version:	Betriebstemperatur:	Auslegungstemperatur:
Standardwetter-Version (STW)	-10 °C bis 40 °C	-20 °C bis 50 °C

Tabelle 4.2: Temperaturbedingungen

Außerdem gibt die IEC 61400-1 eine Luftdichte von $1,255 \text{ kg/m}^3$ an, die bei der Bewertung zu berücksichtigen ist. Da die Luftdichte von der Installationshöhe abhängt, wurde für die Bewertung der Komponenten eine Installationshöhe von 1000 m berücksichtigt.

4.4 Blitzschutz

Blitzschutzklasse: LPL 1

4.5 Elektrische Anschlussbedingungen

Normale Versorgungsspannung und Bereich:	15 - 36 kV $\pm 10 \%$ ¹
Normale Netzfrequenz und -bereich:	50 Hz ± 2 Hz
Spannungsasymmetrie:	max. $\pm 2 \%$
Max. Dauer von Stromnetzausfällen	≤ 2
Netzausfälle:	20 / Jahr
Anzahl der Ausfälle des Stromnetzes:	≤ 2

4.6 Beschreibung der Komponenten

Nachfolgend sind die wichtigsten elektrischen Komponenten mit ihren wichtigsten Eigenschaften aufgeführt.

4.6.1 Generator

4.6.1.1 Komponentenspezifikation

Typ:	E-160 E3 EP5-GU-02
Entwickelt von:	ENERCON
Bezeichnung:	E-160 E3 EP5-GU-02
Prinzip:	permanent-magnet synchron
Dokumente:	[1.2.2]-[1.2.6], [1.13.10]
Nennleistung:	7089 kVA
Nennspannung:	755,2 V
Nennstrom:	16*338,8 A
Nenndrehzahl:	9,6 min ⁻¹
Max. Drehzahl:	11,52 min ⁻¹
Frequenz:	14,08 Hz
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	
- für Generator:	IP 54
- für Schleifring:	IP 54
Kühlart:	Luft
Installationshöhe:	bis 1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-15 °C bis +40 °C
Anmerkung:	- Der Generator E-160 E3 EP5-GU-02 ist identisch mit dem E-160 E2 EP5-GU01 ([1.13.12]), abgesehen von kleinen mechanischen Änderungen [1.13.10].

¹ Entsprechend den Schutzeinstellungen der Mittelspannungsschaltanlage

² Es wurden keine weiteren Informationen zu den elektrischen Anschlussbedingungen vorgelegt.

Einschränkung: -
Anwendung: 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.1.2 Komponentenspezifikation

Typ: E-160 E3 EP5-GU-01
Entwickelt von: ENERCON
Bezeichnung: E-160 E3 EP5-GU-01
Prinzip: permanent-magnet synchron
Dokumente: [1.2.1]-[1.2.5]
Nennleistung: 6958 kVA
Nennspannung: 741,7 V
Nennstrom: 16*338,8 A
Nenndrehzahl: 9,4 min⁻¹
Max. Drehzahl: 11,28 min⁻¹
Frequenz: 13,787 Hz
Isolationsklasse: F
Schutzart:
- für Generator: IP 54
- für Schleifring: IP 54
Kühlart: Luft
Installationshöhe: bis 1000 m
Betriebstemperaturbereich: -15 °C bis +40 °C
Anmerkung:
- Generator E-160 E3 EP5-GU-01 ist ein Prototyp für die WEA-Variante 1 und mit Ausnahme von Änderungen am Statorgrundrahmen identisch mit E-160 E2 EP5-GU-01 ([1.13.12]).
- ENERCON gibt für diesen Generator keine maximale Drehzahl an, daher wurde der angegebene Wert aus dem Überdrehzahltest (1,2-fache Nenndrehzahl) der Typprüfung nach IEC 60034 abgeleitet.
- Ab 20° C wird der Generator mit einer De-Rating-Strategie [1.2.1] betrieben.
Einschränkung: -
Anwendung: 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.1.3 Komponentenspezifikation

Typ: E-160 E3 EP5-GU-03
Entwickelt von: ENERCON
Bezeichnung: E-160 E3 EP5-GU-03
Prinzip: permanent-magnet synchron
Dokumente: [1.2.7]-[1.2.12]
Nennleistung: 7089 kVA
Nennspannung: 755,2 V
Nennstrom: 16*338,8 A
Nenndrehzahl: 9,6 min⁻¹
Max. Drehzahl: 11,52 min⁻¹
Frequenz: 14,08 Hz
Isolationsklasse: F
Schutzart:
- für Generator: IP 54
- für Schleifring: IP 54
Kühlart: Luft
Installationshöhe: bis 1000 m

Betriebstemperaturbereich:	-15 °C bis +40 °C
Anmerkung:	<p>- Der Generator E-160 E3 EP5-GU-03 ist identisch mit dem E-160 E3 EP5-GU-02 [1.12.12].</p> <p>- ENERCON gibt für diesen Generator keine maximale Drehzahl an, daher wurde der angegebene Wert aus dem Überdrehzahltest (1,2-fache Nenndrehzahl) der Typprüfung nach IEC 60034 abgeleitet.</p> <p>- Ab 20° C wird der Generator mit einer De-Rating-Strategie betrieben [1.2.1].</p>
Einschränkung:	-
Anwendung:	2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.2 Leistungsumrichter

4.6.2.1 Komponentenspezifikation

Typ:	IGBT Vollumrichter
Entwickelt von:	ABB
Bezeichnung:	ACS880-77CC-6880A/5500A-7
Dokumente:	[1.3.1]-[1.3.9]
Leistung (Netzseite):	5916 kW (2958 kW pro Modul)
Nennspannung (Netzseite):	3 ~ 690 V
Nennstrom (Netzseite):	5500 A (2750 A pro Modul)
Nennspannung (Maschinenseite):	3 ~ 0...690 V
Nennstrom (Maschinenseite):	6880 A (3440 A pro Modul)
Frequenz:	50/60 Hz ± 5 Hz
Schutzart:	IP 21
Installationshöhe:	1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis +45 °C
Anwendung:	1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.2.2 Komponentenspezifikation

Typ:	IGBT Vollumrichter
Entwickelt von:	ENERCON
Bezeichnung:	Powerboost-Converter - PBC STD
Dokumente:	[1.3.10]-[1.3.15]
Leistung (Netzseite):	7800 kVA (1950 kVA pro Modul)
Nennspannung (Netzseite):	3 ~ 750 V
Nennstrom (Netzseite):	6000 A (1500 A pro Modul)
Nennspannung (Maschinenseite):	3 ~ 800 V
Nennstrom (Maschinenseite):	6400 A (1600 A pro Modul)
Frequenz:	50/60 Hz ± 5 Hz
Schutzart:	IP 20
Installationshöhe:	1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis +45 °C
Anwendung:	2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.3 Transformator

4.6.3.1 Komponentenspezifikation

Typ:	Flüssigkeitsgefüllter Transformator
Entwickelt von:	J. Schneider Elektrotechnik
Bezeichnung:	HPNW 6500A-2034T12001 (HPNW 6500A-2035T10001)

Dokumente:	[1.4.1]-[1.4.4], [1.13.12]
Frequenz:	50 Hz
Nennleistung:	6500 kVA
Nennleistung (HS-Seite):	33 kV (10 kV)
Nennspannung (NS-Seite):	0,69 kV
Schaltgruppe:	Dyn5
Stufenschalter:	±2 x 5%
Kühlart:	KFAF
Schutzart:	IP 00
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis +50 °C
Anwendung:	1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.3.2 Komponentenspezifikation

Typ:	Flüssigkeitsgefüllter Transformator
Entwickelt von:	Siemens Energy
Bezeichnung:	TDU-653A02S6A-TU (TDU-653A03W6N-TU)
Dokumente:	[1.4.5]-[1.4.15]
Frequenz:	50 Hz
Nennleistung:	6500 kVA (6200 kVA)
Nennleistung (HS-Seite):	36 kV (33 kV)
Nennspannung (NS-Seite):	0,69 kV / 0,75 kV
Schaltgruppe:	Dyn5
Stufenschalter:	±2 x 5%
Kühlart:	KFWF
Schutzart:	IP 00
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis +50 °C
Anmerkung:	- 653A03W6N mit ähnlicher Bezeichnung und gleicher technischer und konstruktiver Ausführung, jedoch mit geringerer Leistung und Wicklung - Transformator mit der gleichen technischen und konstruktiven Auslegung, jedoch mit höherer Niederspannung (750 V) für E-160 EP5 E3 R1 [1.4.26], [1.4.27]
Anwendung:	1, 2 (siehe Tabelle 4.21)

4.6.3.3 Komponentenspezifikation

Typ:	Flüssigkeitsgefüllter Transformator
Entwickelt von:	SBG
Bezeichnung:	DST 6500 H/20 (DST 6200 H/30)
Dokumente:	[1.4.5], [1.4.16]-[1.4.25]
Frequenz:	50 Hz
Nennleistung:	6500 kVA (6200 kVA)
Nennleistung (HS-Seite):	20 kV / 33 kV
Nennspannung (NS-Seite):	0,69 kV / 0,75 kV
Schaltgruppe:	Dyn5
Stufenschalter:	±2 x 5%
Kühlart:	KFWF
Schutzart:	IP 00
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis +50 °C
Anmerkung:	- DST 6200 H/30 mit ähnlicher Bezeichnung und gleicher technischer und konstruktiver Ausführung, jedoch mit geringerer Leistung und Wicklung

- Transformator mit der gleichen technischen und konstruktiven Auslegung, jedoch mit höherer Niederspannung (750 V) für E-160 EP5 E3 R1 [1.4.26], [1.4.27]

Anwendung: 1, 2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.4 Mittelspannungsschaltanlage

4.6.4.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Siemens AG
Bezeichnung: 8DJH
Dokumente: [1.5.1]-[1.5.8]
Frequenz: 50/60 Hz
Nennspannung: 24 kV
Nennstrom: 630 A
Schutzart: IP 2X (Bedienfeld) / IP 65 (Tank)
Insulationsmedium: SF₆
Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis +40 °C
Anmerkung: - Die Mittelspannungsebene kann an die projektspezifischen Anforderungen angepasst werden.
- Der Temperaturbereich der Schaltanlage hängt von der Sekundärtechnik ab. Lagerwey installierte ein Siemens Siprotec 5 Relais.

Anwendung: 1, 2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.4.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Ormazabal velatia
Bezeichnung: cgm.3
Dokumente: [1.5.1], [1.5.9]-[1.5.13]
Frequenz: 50/60 Hz
Nennspannung: 36 kV
Nennstrom: 400/630 A
Schutzart: IP 2XD (Bedienfeld) / IP X8 (Tank)
Insulationsmedium: SF₆
Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis +40 °C
Anwendung: 1, 2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.5 Pitchmotor

4.6.5.1 Komponentenspezifikation

Typ: Synchronmotor (AC)
Entwickelt von: KEB
Bezeichnung: 7608000-4000
Dokumente: [1.6.1]-[1.6.15]
Nennleistung: 19,8 kW
Nennspannung: -
Nennstrom: 42,3 A
Nennzahl: 2000 min⁻¹
Frequenz: -
Insulationsklasse: F
Schutzart: IP 65
Betriebstemperaturbereich: -30 °C bis +65 °C
Anmerkung: - Nennspannung und -frequenz sind nicht im Herstellerdokument definiert

Anwendung: 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.5.2 Komponentenspezifikation

Typ: Permanent-magnet Synchronmotor (AC)
 Entwickelt von: Bonfiglioli Riduttori S.p.A
 Bezeichnung: JB00029516 (BMD 132L)
 Dokumente: [1.6.16]-[1.6.21]
 Nennleistung: 5,65 kW
 Nennspannung: 220 V (Y)
 Nennstrom: 17,4 A
 Nenndrehzahl: 1000 min⁻¹
 Frequenz: -
 Isolationsklasse: F
 Schutzart: IP 55
 Betriebstemperaturbereich: -20 °C bis +58 °C
 Anmerkung: - Nennfrequenz nicht im Herstellerdokument definiert
 - Vollständige Bezeichnung des Pitchmotors "JB00029516": BMD 132L 74
 1000 360 B5 38 K 55 TC1 ENC F24
 Anwendung: 2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.6 Pitchumrichter

4.6.6.1 Komponentenspezifikation

Typ: Pitchumrichter
 Entwickelt von: KEB
 Bezeichnung: Combivert P6 (19P6H2G-YLXA)
 Dokumente: [1.6.6]
 Nennspannung (Netzseite): 400 V
 Nennstrom (Netzseite): 28 A
 Nennstrom (Maschinenseite): 52A
 Nennfrequenz: 50/60 Hz
 Schutzart: IP 20
 Betriebstemperaturbereich: -30 °C bis +65 °C
 Anwendung: 1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.6.2 Komponentenspezifikation

Typ: Pitch-Servo-Umrichter
 Entwickelt von: KEBA Industrial Automation Germany GmbH
 Bezeichnung: PitchOne (PO.0570.1001)
 Dokumente: [1.6.22]-[1.6.25]
 Nennspannung (Netzseite): 400 V
 Nennstrom (Netzseite): 3 - 20 A
 Nennstrom (Maschinenseite): 15 - 20 A (AC)
 Nennfrequenz: 50/60 Hz
 Schutzart: IP 20
 Betriebstemperaturbereich: -30 °C bis +55 °C
 Anwendung: 2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.7 Energiespeicher

4.6.7.1 Komponentenspezifikation

Typ:	Ultrakondensator
Entwickelt von:	Maxwell
Bezeichnung:	BMOD0006 E160 B02
Dokumente:	[1.7.1], [1.7.2]
Kapazität pro Blatt:	5,8 F / 3,86 F
Nennspannung:	160 V (DC)
Anmerkung:	- Nennkapazität des Moduls 5,8 F, pro Blatt 2 x 3 Module parallel
Anwendung:	1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.7.2 Komponentenspezifikation

Typ:	Ultrakondensator
Entwickelt von:	SECH SA
Bezeichnung:	M12S-348-0006
Dokumente:	[1.7.3]-[1.7.6]
Kapazität pro Blatt:	6,2 F
Nennspannung:	348 V (DC)
Anmerkung:	- Nennkapazität des Moduls 5,8 F, pro Blatt 2 x 3 Module parallel
Anwendung:	2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.8 Schleifring

4.6.8.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Moog Rekofa GmbH
Bezeichnung:	F 5927 D
Dokumente:	[1.8.1]-[1.8.4]
Anzahl der Kontakte:	25
Schutzart:	IP 54
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis +55 °C
Anwendung:	1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.8.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Deublin - Hoerbiger Rotary Solutions
Bezeichnung:	SR1055
Dokumente:	[1.8.5]-[1.8.8]
Anzahl der Kontakte:	10 + FORJ
Schutzart:	IP 54
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis +50 °C
Anwendung:	2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.8.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Everaxis Industries
Bezeichnung:	6FA011390
Dokumente:	[1.8.5], [1.8.6], [1.8.9]-[1.8.12]
Anzahl der Kontakte:	10 + FORJ
Schutzart:	IP 54
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis +50 °C
Anwendung:	2 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.9 Azimutmotor

4.6.9.1 Komponentenspezifikation

Typ:	Asynchronmotor
Entwickelt von:	Getriebebau Nord
Bezeichnung:	132SP/4 BRE60 PT1000
Dokumente:	[1.9.1]-[1.9.4]
Nennleistung:	5,5 kW
Nennspannung:	400 V (AC)
Nennstrom:	10,9 A
Nenndrehzahl:	1495 min ⁻¹
Frequenz:	50 Hz
Insulationsklasse:	F
Schutzart:	IP 55
Bauart:	IM B5
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis +50 °C
Anwendung:	1 (siehe Tabelle 4.2)

4.6.9.2 Komponentenspezifikation

Typ:	Permanent-magnet Synchronmotor
Entwickelt von:	Bonfiglioli Riduttori S.p.A
Bezeichnung:	JB00025049 (BMD 132L)
Dokumente:	[1.9.5]-[1.9.9]
Nennleistung:	8,38 kW
Nennspannung:	420 V (AC)
Nennstrom:	13,1 A
Nenndrehzahl:	2000 min ⁻¹
Frequenz:	100 Hz
Insulationsklasse:	F
Schutzart:	IP 55
Bauart:	IM B5
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis +50 °C
Anmerkung:	- Vollständige Bezeichnung des Azimutmotors "JB00025049": BMD 132L 74 2000 500 B5 38 K 55 TC1 ENC F24
Anwendung:	2 (siehe Tabelle 4.2)

5 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN

5.1 Prüfmethode

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit, Plausibilität und auf die Einhaltung der in den oben genannten Normen festgelegten Anforderungen geprüft. Darüber hinaus umfasst die Bewertung die Überprüfung der Schaltpläne sowie die Dimensionierung der elektrischen Komponenten.

5.2 Prüfanmerkungen

- R1 Ein Bericht über die Konformität des Erdungssystems mit den einschlägigen Normen sollte die Berücksichtigung der örtlichen Vorschriften und Standortbedingungen enthalten. Dieser Bericht sollte von einem lokalen Experten verfasst und als Teil der Dokumentation der Windenergieanlage dokumentiert werden. Dies liegt in der Verantwortung des Kunden bzw. des Auftragnehmers der Windenergieanlage. Der Hersteller muss auf diesen Umstand hinweisen.

- R2 Es ist zu berücksichtigen, dass es keine Unterbrechung im Blitzschutzsystem und in der Erdungsanlage geben darf. Einige optionale Komponenten wie die Flugscheinwerfer oder der Eissensor waren nicht Teil dieser Bewertung.
- R3 Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Nagetiere oder andere Tiere die Kabel beschädigen, z. B. zwischen dem Turm und dem separaten Umspannwerk, müssen Panzerkabel oder -rohre verwendet werden. Dies liegt in der Verantwortung des Kunden oder des Auftragnehmers der Windenergieanlage. Der Hersteller muss diesbezüglich beraten.
- R4 Es wurden keine Vorkehrungen für die Erfüllung der Anforderungen an die elektrische Energiequalität und die elektromagnetische Verträglichkeit festgelegt. Die Einhaltung der gültigen lokalen Normen muss vor der Installation der Windenergieanlage durch den Kunden oder den Auftragnehmer bestätigt werden. Die Bewertung der örtlichen Netzanschlussbedingungen ist nicht Bestandteil dieser Bewertung.
- R5 Wenn die elektrische Ausrüstung in Betrieb genommen wird, muss dies in Übereinstimmung mit IEC 60364-6-61 "Elektrische Anlagen von Gebäuden; Teil 6: Prüfung; Kapitel 6.1: Erstprüfung" erfolgen. Der Prüfbericht ist dem Nutzer als Teil der Dokumentation der Windenergieanlage auszuhändigen.
- R6 Eine vorläufige Version des Hardware-Handbuchs wurde vorgelegt [1.3.2]. Die endgültige Version des Hardware-Handbuchs sollte zur Bewertung vorgelegt werden.
- R7 Im Handbuch von KEB [1.6.5] wird die Motorbezeichnung 7608000-4000 nicht erwähnt. Daher sollte diese Anleitung aktualisiert werden.
- R8 ENERCON hat eine detaillierte Erklärung [1.13.8] zum Blitzschutz der Gondel der E-160 EP5 E3 vorgelegt, indem erklärt wird, dass für das hintere Ende der Gondel keine Blitzableiter (Fangstangen) installiert werden müssen. Diese Beschreibung soll in die nächste Überarbeitung des Dokuments [1.10.7] aufgenommen werden.
- R9 Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 sollten in die DoC (Konformitätserklärung) aufgenommen werden. Diese Konformitätserklärung ist nur als Entwurfsversion verfügbar. Die freigegebene DoC ist Teil der Turbinendokumentation und sollte dem Kunden vorgelegt werden.

5.3 Prüfergebnis

Allgemeines elektrisches System und Hauptkomponenten

■ Generator

Die ENERCON E-160 EP5 E3 WEA ist mit einem permanentmagnetischen Synchrongenerator des Typs E-160 E3 EP5-GU-02 der Firma ENERCON ausgestattet. Dieser Generator E-160 E3 EP5-GU-02 ist identisch mit dem Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (der bereits in [1.13.12] bewertet wurde), abgesehen von kleineren mechanischen Anpassungen und einer etwas höheren Nenndrehzahl, die die Leistung erhöht. Zusätzlich wird in diesem Bericht der Generator E 160 E3 EP5-GU-01 aufgeführt, der ebenfalls mit dem Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (bereits in [1.13.12] evaluiert) identisch ist, abgesehen von einigen geringfügigen Änderungen am Ständergrundrahmen. Der Generator E 160 E3 EP5-GU-01 wurde als Prototyp in drei ENERCON E-160 EP5 E3 Windenergieanlagen in Hämelhausen

eingesetzt. ENERCON hat bestätigt, dass beide Generatoren elektrisch identisch mit dem bereits evaluierten Generator E 160 E2 EP5-GU-01 sind, so dass der Prüfbericht [1.2.2] sowie der Erwärmungstest [1.2.5] angewandt werden können [1.13.10]. Wir haben keine Einwände gegen dieses Verfahren.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 ist mit einem Permanentmagnet-Synchrongenerator des Typs E-160 E3 EP5-GU-03 [1.2.7]-[1.2.11] von ENERCON ausgestattet. ENERCON bestätigt, dass dieser Generator elektrisch identisch mit dem Generator E-160 E3 EP5-GU-02 [1.2.12] ist. Somit können der Prüfbericht und die Erwärmungsprüfung des E-160 E3 EP5-GU-02 auch auf diesen Generator angewendet werden.

■ Leistungsumrichter

Die ENERCON E-160 EP5 E3 ist mit dem Stromrichter ACS880-77CC-6880A/5500A-7 der Firma ABB ausgestattet. Die Zeichnungen und Schaltpläne wurden vorgelegt [1.3.3]-[1.3.5]. ABB bestätigt die Konformität des ACS880-77CC-5200A/4800A-7 mit den EU-Richtlinien 2014/35/EU und 2014/30/EU unter Beachtung der EN 61800-5-1 und EN 61800-3 0. Die Prüfberichte des ACS880-77CC-6880A/5500A-7 wurden vorgelegt [1.3.8], [1.3.9]. Darüber hinaus wurde ein Bericht über die Entladezeit der Kondensatoren [1.3.7] für ACS880-87CC-Wandler vorgelegt und vom Hersteller bestätigt, dass dieses Dokument aufgrund der Ähnlichkeit der verwendeten Leistungsmodule auch für ACS880-77CC-Wandler gilt.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 WEA ist mit einem Konverter Powerboost-Converter - PBC STD von ENERCON ausgestattet. Im WEA werden vier Umrichterschränke verwendet, die sich in der E-Gondel [1.3.10]-[1.3.15] befinden. Der Umrichter ist nach IEC 62477-1 ausgelegt. Ein Baumusterprüfbericht nach IEC 62477-1 wurde von ENERCON noch nicht vorgelegt. Das Dokument ist bei der Zertifizierungsstelle einzureichen. Weiterhin ist der Nachweis der Einhaltung der EMV-Anforderungen zu erbringen (siehe C1). Auch die eingereichte Prüfprozedur [1.3.15] für den Umrichter weist noch einige von ENERCON zu klärende Punkte auf und sollte angepasst und mit dem Typprüfbericht eingereicht werden.

■ Transformator

Der Transformator ist in der E-Gondel im Maschinenhaus des WEA montiert. ENERCON installierte einen ölgefüllten Transformator. Die Transformatoren verwenden synthetischen Ester zur Isolierung und Kühlung. Der Transformator ist gegen Kurzschluss geschützt. Zusätzlich werden die Temperatur und der Druck sowie der Ölstand überwacht.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 kann mit einem flüssigkeitsgefüllten Transformator mit der Bezeichnung HPNW 6500A-2034T12001 von J. Schneider Elektrotechnik, TDU-653A02S6A-TU von Siemens Energy oder DST 6500 H/20 von SBG ausgestattet werden. Die Ausführung entspricht den technischen Spezifikationen von ENERCON [1.4.1], [1.4.5]. Diese Transformatoren erfüllen die Anforderungen der IEC 60076-1.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 kann auch mit den flüssigkeitsgefüllten Transformatoren TDU-653A02S6A-TU von Siemens Energy oder DST 6500 H/20 von SBG ausgestattet werden. Es handelt sich dabei um die gleichen Transformatoren, die auch in der ENERCON E-160 EP5 E3 verwendet wurden, allerdings haben diese Transformatoren eine Niederspannung von 750 V. Dies wurde von den Herstellern bestätigt [1.4.26], [1.4.27]. Die Konstruktion entspricht der technischen Spezifikation von ENERCON [1.4.25] und erfüllt die Anforderungen der Norm IEC 60076-1.

Sowohl der Transformator als auch die Mittelspannungsschaltanlage sind projektspezifische Komponenten. Beide hängen von den örtlichen Netzbedingungen ab. Aufgrund der projektspezifischen

Anpassungen des Transformators soll exemplarisch ein Transformatorentyp von jedem Hersteller bewertet werden.

■ Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage ist im Turmfuß installiert. Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA können mit einer 8DJH-Schaltanlage der Siemens AG [1.5.2]-[1.5.8] oder einer cgm.3 (2 Felder: cgm.3 1K 1LSV V3 oder 3 Felder: cgm.3 2K 1LSV V3) von Ormazabal velatia [1.5.9]-[1.5.13] ausgestattet werden. ENERCON hat die erforderlichen technischen Merkmale der Schaltanlagen in [1.12.1] definiert. Beide Schaltanlagen sind gasisoliert, metallgekapselt und nach IEC 62271-200 ausgelegt und geprüft.

■ Pitchsystem

Jedes Blatt der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 hat ein unabhängiges Pitch-System. Das Pitch-System besteht aus 3 unabhängigen Pitch-Antrieben mit AC-Servomotoren mit einer Bremse, die an jedem Getriebe montiert sind.

Für die ENERCON E-160 EP5 E3 sind die Anforderungen von Lagerwey an den AC-Servo-Pitchmotor in [1.6.1] aufgeführt. Es wird der Servomotor Typ 7608000-4000 von KEB [1.6.2]-[1.6.5] eingebaut. In der EU-Konformitätserklärung [1.6.3] wird die EN 60034-1 als angewandte Norm für den Servomotor genannt. Der Motor wird vom Umrichter Combivert P6 (Artikelnummer 19P6H2G-YLXA) von KEB [1.6.6]-[1.6.9] gesteuert. Der Umrichter entspricht den EU-Richtlinien 2014/30/EU (angewandte Norm EN 61800-3) und 2014/35/EU (EN 61800-5-1 und EN 61800-2) [1.6.9]. Außerdem wurde der Wechselrichter vom TÜV Rheinland [1.6.7] nach EN 61800-5-1 und EN 61800-3 zertifiziert. Das Backup-System für den AC-Pitch-Antrieb wird in Kapitel 4.6.7 dieses Gutachtlichen Stellungnahme erwähnt. Im Falle eines Netzausfalls / Notaus-Ereignisses verwenden die Pitch-Antriebe die Notstromversorgung aus Ultrakondensatormodulen.

Ein Hardware-Endschalter stoppt den Pitch-Motor bei verschiedenen Werten. Der normale Stopp liegt bei 90° und -2°. Die extreme Abschaltung ist bei 115° definiert. Die Geschwindigkeitsrückmeldung und die Positionierung der Blätter werden über einen Encoder gemessen. Im Normalbetrieb wird das Pitch-System von der Steuerung kontrolliert.

Das Pitchsystem der ENERCON E-160 EP5 E3 R1 ist mit dem Motor Typ JB00029516 von Bonfiglioli Riduttori S.p.A. ausgestattet. Dieser Motor ist ein Permanentmagnet-Synchronmotor mit integrierter Bremse und PT1000-Temperatursensoren. Der Motor ist mit dem KEBA Pitchservo [1.6.22]-[1.6.25] verbunden. Der Motor [1.6.16]-[1.6.21] entspricht der EU-Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU unter Anwendung der IEC 60034-1.

■ Schleifring

Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA ist mit einem Schleifring für die elektrische Verbindung zwischen der Gondel und dem Pitchsystem ausgestattet. Lagerwey (ENERCON) hat die erforderlichen technischen Merkmale des Schleifrings in [1.8.1] für ENERCON E-160 EP5 E3 definiert. Eingebaut wird der Typ F 5927 D von Moog Rekofa. Es handelt sich um einen Schleifringkörper mit 25 Ringen, der Bürsten und Ringe [1.8.2]-[1.8.4] verwendet.

Für die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 hat ENERCON die erforderlichen technischen Merkmale in [1.8.5] festgelegt. Es können sowohl der Typ SR1055 von Deublin [1.8.7], [1.8.8] als auch der Typ 6FA011390 von Everaxis Industries [1.8.9]-[1.8.12] eingebaut werden. Dabei handelt es sich um Schleifringübertrager mit 10 Ringen und einem Fibre Optic Rotary Joint (FORJ).

■ Azimutsystem

Die ENERCON E-160 EP5 E3 WEA ist mit 10 elektromagnetischen Gierantrieben ausgestattet. Das Giersystem gliedert sich in die Teilsysteme Giergetriebe, Gierring und Giermotor. In der ENERCON E-160 EP5 E3 WEA ist der Asynchronmotor Typ 132SP/4 BRE60 PT1000 von Getriebebau Nord eingebaut. Der Motor ist nach IEC 60034 -1 ausgelegt und geprüft. Die entsprechende Dokumentation ist unter [1.9.1]-[1.9.4] aufgeführt.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 ist mit 8 elektromagnetischen Gierantrieben ausgestattet. Es werden Permanentmagnet-Synchronmotoren des Typs JB00025049 (BMD 132L) von Bonfiglioli Riduttori S.p.A. verwendet. Der Giermotor ist nach IEC 60034 1 [1.9.5]-[1.9.9] ausgelegt und geprüft.

■ Schalpläne

Wir haben die in diesem Bericht genannten Schaltpläne und Stücklisten hinsichtlich der Schutzeinrichtungen stichprobenartig überprüft. Die Auswertung der Schaltpläne hat ergeben, dass die oben genannten Normen berücksichtigt werden. Optionale Bauteile in den Schaltplänen wurden nicht bewertet. Die oben aufgeführten Bauteile sind in den Schaltplänen korrekt dargestellt. Wir haben keine Einwände gegen die eingereichten Stromlaufpläne.

Das oben genannte elektrische System und die aufgeführten Komponenten entsprechen den Anforderungen der IEC 61400-22, IEC 61400-1 und IECRE OD-501.

Back-up Versorgungssystem

Jedes Pitchsystem der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 ist mit Ultrakondensatoren zur Notstromversorgung ausgestattet. Für die ENERCON E-160 EP5 E3 ist der Kondensator BMOD0006 E160 B02 von Maxwell [1.7.1], [1.7.2] und für die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 der Kondensator M12S-348-0006 von SECH SA [1.7.3]-[1.7.6] installiert. Die Berechnungen der Back-up Energie sind plausibel. Die Back-up-Systeme entsprechen den Anforderungen der IEC 61400-1.

Kabel, Stromschienen und weitere elektrische Ausrüstung

In der ENERCON E-160 EP5 E3 WEA werden flexible Leitungen (2 parallele Systeme á 24x1x185 mm² S-3GSHOEU Kupfer) vom Generator zum Umrichter verlegt [1.11.1], [1.11.9]. Vom Umrichter zum Transformator werden flexible Kabel (48x1x300 mm² H07BN4-F Kupfer) verwendet [1.11.2], [1.11.3].

Die Verbindung zwischen dem Transformator und der Mittelspannungsschaltanlage erfolgt über ein MS-Kabel (Turmkabel) (1x3x70 mm² (N)TSCGEHXOEU Kupfer) [1.11.4]-[1.11.6]. Die Berechnung der Strombelastbarkeit der Kabel ist plausibel und nachvollziehbar. Die Bewertung der Kabel führt zu keiner Abweichung von der IEC 61400-1.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 WEA kann zusätzlich mit einer neuen Modifikation für die Niederspannungsverteilung (LVD) ausgestattet werden, die zusätzlich zu der derzeit verwendeten LVD [1.12.28] verwendet werden kann. Diese LVD betrifft die Verbindung zwischen dem Umrichter und dem Transformator (690 V).

Sie besteht aus einer Kombination von Stromschienen und 18 einadrigen Leistungskabeln (Typ H07BN-4) mit einem Querschnitt von 630 mm² ([1.11.19], [1.11.20]). ENERCON hat hierzu plausible Berechnungen ([1.11.11]) sowie Prüfberichte ([1.11.15]-[1.11.18]) und weitere relevante Unterlagen ([1.11.9], [1.11.12]-[1.11.14], [1.12.29]) vorgelegt. Wir haben keine Einwände gegen dieses Verfahren.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 R1 kann für die Verbindung zwischen dem Generator und den vier Umrichtern wahlweise 24 1x630 mm² Aluminiumkabel [1.11.29] oder 24 1x500 mm² Kupferkabel von Prysmian [1.11.27] verwenden. Gleiches gilt für die Verbindung der vier Umrichter mit der Niederspannungsverteilung (NSV) [1.11.28], [1.11.29]. Über Stromschienen inkl. eines Leistungsschalters und 2000A Sicherungen für jede Phase ist die NSV an den MV-Transformator angeschlossen [1.11.30], [1.11.31]. Das MV-Turmkabel TSCGEHXOEU (3x70 + 3x70/3) von Prysmian [1.11.4], [1.11.6] verbindet den Transformator mit der MV-Schaltanlage im Turmfuß. Die Dokumentation der Kabelverlegung sowie -berechnung ist nachvollziehbar und plausibel in [1.11.21]-[1.11.25] und [1.12.1] beschrieben.

Niederspannungsschaltanlagen, -Schaltgeräte, -Schalttafeln sowie Schutz- und Trenneinrichtungen

Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA sind mit Schutzvorrichtungen für die elektrischen Komponenten der Windenergieanlage selbst und das externe elektrische System im Falle von Störungen ausgestattet. Die installierten Motoren sind mit Überlast- und Kurzschlussschutzvorrichtungen ausgestattet. Die Überprüfung der Schutzeinrichtungen haben wir stichprobenartig vorgenommen. Diese Prüfungen ergaben keine Abweichungen von der IEC 61400-1.

Die Anforderungen der IEC 61400-1 an die Schutz- und Abschalteinrichtungen werden erfüllt.

Blitzschutz und Erdungsanlage

Die IEC 61400-1 verlangt ein Blitzschutzsystem nach der Norm IEC 62305. Für Windkraftanlagen ist darüber hinaus die IEC 61400-24 zu berücksichtigen.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 Windenergieanlagen sind für das Blitzschutzniveau I (LPL I) ausgelegt [1.10.7]. Die Einteilung in verschiedene Blitzschutz-zonen (LPZ) ist ebenfalls in diesem Dokument beschrieben. Die Beschreibung ist ausreichend und plausibel.

Die WEA ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 sind mit dem Rotorblatt LM 78.3 P von LM Wind Power [1.13.1] ausgestattet. Das Design des LM 78.3 P wurde von Bureau Veritas [1.10.6] evaluiert. Dieses Rotorblatt ist mit dem isolierten Blitzschutzsystem (ILPS) ausgestattet [1.10.1]. Dieses ILPS wurde vom Germanischen Lloyd (GL) in Übereinstimmung mit IEC 61400-24 [1.10.2], [1.10.4] geprüft. Das ILPS besitzt ein gültiges Komponentenzertifikat des GL [1.10.3] gemäß IEC 61400-22.

Das lokale Fundament- und Erdungssystem von E-160 EP5 E3 ist in Dokument [1.10.8] und für ENERCON E-160 EP5 E3 R1 in [1.10.9] und [1.10.10] dargestellt. Das dargestellte System ist nach den Anforderungen der IEC 62305 ausgelegt.

Es ist zu berücksichtigen, dass es keine Unterbrechung im Blitzschutzsystem und im Erdungsanschlusssystem geben darf.

Die Anforderungen an die Blitzschutz- und Erdungsanlage der IEC 61400-1 werden erfüllt.

Selbsterregend

Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 werden bei einem Netzausfall über den Umrichter sicher vom Netz getrennt. Damit werden die Anforderungen der IEC 61400-1 bezüglich Selbsterregung erfüllt.

Netzqualität und elektromagnetische Verträglichkeit

In IEC 61400-1 wird die Messung der Netzqualität gemäß IEC 61400-21 erwähnt. Diese Messung ist in IEC 61400-22 als optionale Bewertung aufgeführt. Die Bewertung der Netzqualität ist nicht Teil des Angebots. Daher ist die Bewertung der Messungen der Typcharakteristik und des Netzverhaltens der Windenergieanlage nicht in dieser GS enthalten.

Hinsichtlich der Störfestigkeit gegenüber gestrahlten und leitungsgebundenen Störungen müssen alle in der Windenergieanlage installierten elektrischen Komponenten die Anforderungen der einschlägigen Produktnormen erfüllen und dürfen nicht unter den höheren Anforderungen der IEC 61000-6-2 liegen.

Emissionen von leitungsgebundenen Störungen sowie die Störfestigkeit gegen leitungsgebundene Störungen sind mit der Erfüllung der Anforderungen an den Blitzschutz und der Erfüllung der IEC 62305 abgedeckt.

Die Überprüfung der EMV-Anforderungen erfolgt durch verschiedene Messungen des Magnetfeldes und des elektrischen Feldes an verschiedenen Punkten rund um den WEA. Diese Messungen sind obligatorisch für die Einhaltung der europäischen EMV-Verordnung. Der Prüfbericht sollte bei der Zertifizierungsstelle hochgeladen werden.

Weitere Ergebnisse

Ein Dokument mit der technischen Beschreibung der Fault-Ride-Through (FRT) Funktionen der ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA wurde vorgelegt [1.13.6], [1.13.7]. Die ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 WEA sind mit einem Chopper-Bremswiderstand ausgestattet, der die Nennwirkleistung für mindestens zwei Sekunden abführen kann. Die Anforderungen der IEC 61400-1 bezüglich FRT werden erfüllt.

Die ENERCON E-160 EP5 E3 kann optional mit einem Eisdetektor [1.12.5] ausgestattet werden, der die Stärke und Dauer der Eisbildung auf den Schaufeln misst. Die Turbine wird angehalten, wenn Eis auf den Schaufeln erkannt wird [1.13.7]. Wir haben die Schaltpläne sowie die eingesetzten Sensoren für die Option einer Eiserkennung auf Plausibilität überprüft.

5.4 Schnittstellen

- I1 Das Sicherheitssystem der ENERCON E-160 EP5 E3 ist in [1.13.3] und für ENERCON E-160 EP5 E3 R1 in [1.13.18] beschrieben. Die Sensoren und Aktoren des Sicherheitssystems sind in den Anlagenschemata korrekt dargestellt

6 AUFLAGEN

Die unten aufgeführten Bedingungen werden als nicht sicherheitskritisch eingestuft. Die Dokumente sind für die Bewertung der Typprüfung vorzulegen.

- C1 Der Typprüfbericht und die EMV-Prüfungen, die für den PBC - STD Konverter erforderlich sind, müssen im Prototyp der ENERCON E-160 EP5 E3 R1 durchgeführt werden und sind nachzureichen.

7 OFFENE PUNKTE

O1 keine

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die elektrische Ausrüstung und der Blitzschutz der ENERCON E-160 EP5 E3 und ENERCON E-160 EP5 E3 R1 erfüllen die Anforderungen der IEC 61400-22, IEC 61400-1 (Edition 4.0) und IECRE OD-501, wenn die in Kapitel 6 genannten Anforderungen erfüllt sind. Die Kapitel 6 und 7 sind zu berücksichtigen.

Änderungen an dem elektrischen System machen diese Gutachtliche Stellungnahme ungültig. Um die Gültigkeit dieser Gutachtlichen Stellungnahme aufrechtzuerhalten, müssen die Änderungen der Zertifizierungsstelle mitgeteilt und zur Bewertung vorgelegt werden.

- Ende des Berichtes -

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON EP5

Unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen

- Rotorblatt LM 78.3 P -

TÜV NORD Bericht-Nr.:	8118796497-3 D, Rev. 6
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 18 Seiten.

Revisionstabelle

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	21.01.2021	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Polster
1	03.03.2021	140 m Nabenhöhe ergänzt; Handbuch [1.2.45] 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 [1.2.19] - [1.2.27] hinzugefügt	Dipl.-Ing. M. Bätge
3	18.05.2021	Lasten der Konfiguration 3 aktualisiert: [1.2.20], [1.2.21] und [1.2.27]	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] & [1.2.26]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.5], [1.2.6], [1.2.13], [1.2.28] - [1.2.30], [1.2.41], [1.2.44], [1.2.46] & [1.2.50]; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. M. Polster
5	01.11.2022	Konfigurationen 5 und 6 mit Blattvariante LM 78.3 P Gen. C hinzugefügt; Anerkannte Regelwerke [2.4] - [2.7] hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.17], [1.2.29], [1.2.30]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.7], [1.2.8], [1.2.31] - [1.2.33], [1.2.51], [1.2.52]; WEA Bezeichnung in der Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3 für die Konfigurationen 1 - 3 angepasst; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. (FH) S. Stojkovic
6	06.01.2023	Konfigurationen 7 und 8 mit Blattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.29], [1.2.30], [1.2.47]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.9], [1.2.10], [1.2.11]; [1.2.34] - [1.2.37], [1.2.38], [1.2.39], [1.2.53], [1.2.54]; Redaktionelle Änderungen	Dipl.-Ing. (FH) S. Stojkovic

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	9
3	Einleitung	10
4	Beschreibung der Komponente	10
4.1	Klimatische Bedingungen.....	10
4.2	Beschreibung der Komponentenparameter.....	10
4.3	Designlasten	12
4.4	Materialien.....	13
5	Durchgeführte Prüfung.....	13
5.1	Prüfmethode.....	13
5.2	Anmerkungen	14
5.3	Ergebnisse	14
5.4	Schnittstellen.....	17
6	Auflagen.....	17
7	Schlussfolgerung	18

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Keine.

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

- [1.2.7] Bureau Veritas Certification:
"Type Testing Evaluation Conformity Statement LM 78.3 P"
Dokument-Nr.: 190061-CS-TY-01-0, Datum: 15.10.2021

- [1.2.8] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-08-1"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-08-1, Rev. 1, Datum: 08.06.2022

- [1.2.9] Bureau Veritas Certification:
"Component Certificate, LM 78.3 P Wind Turbine Rotor Blade"
Zertifikats-Nr.: IECRE.WE.CC.21.0066-R1, Rev. 1, Datum: 14.04.2022

- [1.2.10] Bureau Veritas Certification:
"Conformity Letter 190061-CL-BLA-09-1"
Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-09-1, Rev. 1, Datum: 29.07.2022

[1.2.11] Bureau Veritas Certification:

"Conformity Letter 190061-CL-BLA-11-0"

Dokument-Nr.: 190061-CL-BLA-11-0, Rev. 0, Datum: 14.11.2022

Auslegungslasten

[1.2.12] "Load Conversion Report, LM 78.3 P"

Dokument-Nr.: TR-10898, Rev. A4, Datum: 06.07.2020

[1.2.13] "Load Conversion Report, LM 78.3 P"

Dokument-Nr.: TR-10898, Rev. A5, Datum: 17.08.2021

WEA-Lasten

[1.2.14] "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

[1.2.15] 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

[1.2.16] 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

[1.2.17] 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. 1, Datum: 31.01.2021

[1.2.18] 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

[1.2.19] "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

[1.2.20] 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

- [1.2.21] 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
- [1.2.22] 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
- [1.2.23] 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
- [1.2.24] 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
- [1.2.25] 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
- [1.2.26] 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 -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119042164-1 D V, Rev. 1, Datum: 03.06.2021
- [1.2.27] 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 -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119042164-1 D VI, Rev. 1, Datum: 18.05.2021
- [1.2.28] "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
- [1.2.29] ENERCON GmbH:
"Load report Rotor blade LM783P_2p"
Dokument-Nr.: D02463292-5.0, Rev. 5.0, Datum: 01.12.2022
- [1.2.30] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DiBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-1 D IV, Rev. 2, Datum: 19.12.2022

[1.2.31] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW E-160 EP5 E3 99mHH 50Hz Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17223/A1, Rev. A1, Datum: 03.06.2022

[1.2.32] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 119.99 m (E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01) DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-1 D V, Rev. 0, Datum: 10.06.2022

[1.2.33] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, NH 99.001 m (E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01/02), DIBt WZ S, GK S
- Lastannahmen für Turm und Fundament - "
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119201822-1 D IX, Rev. 0, Datum: 08.08.2022

[1.2.34] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIIA, 50Hz, site Hämelhausen Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17311/A1, Rev. A1, Datum: 20.06.2022

[1.2.35] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIIA, 50Hz – 20yrs Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17476/A1, Rev. A1, Datum: 22.07.2022

[1.2.36] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIB, 50Hz, 25yrs Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17473/A1, Rev. A1, Datum: 22.07.2022

[1.2.37] "Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW, E-160 E3,166mHH, Wind class IIB, 50Hz, 25yrs Wind Turbine, Standard weather Climate conditions"
Dokument-Nr.: TR-17475/A1, Rev. A1, Datum: 22.07.2022

[1.2.38] ENERCON GmbH:
Lasten für die Konfiguration 7 und 8, enthalten in [1.2.29], Rev.5:
E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 Certification LM 78.3P Blade loads
Dateiname: D02733953_0.0_en_Calculation_E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 Certification LM 78.3P Blade loads.zip
Checksumme: MD5-Checksum: 9AFCBB6D5D0930EEFBDF412591199050

[1.2.39] 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.: 8119201822-1 D I, Rev. 2, Datum: 19.12.2022

Zeichnungen

[1.2.40] "Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon" (Gen. B)
Zeichnungs-Nr.: DR-15179, Rev. A3, Datum: 31.05.2020

[1.2.41] "Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon" (Gen. C)
Zeichnungs-Nr.: DR-15179, Rev. A4, Datum: 18.11.2020

[1.2.42] "Main Drawing, LM 78.3 P"
Zeichnungs-Nr.: DR-15183, Rev. A1, Datum: 15.11.2019

Blatt Design Spezifikation und Handbuch

[1.2.43] "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

[1.2.44] "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

[1.2.45] "Technical Blade Manual, LM 78.3 P" (Gen. B)
Dokument-Nr.: BM-00488, Rev. A3, Datum: 14.07.2020

[1.2.46] "Technical Blade Manual, LM 78.3 P" (Gen. C)
Dokument-Nr.: BM-00488, Rev. A6, Datum: -

Aerodynamische Anbauteile und Blitzschutzsystem

[1.2.47] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Vortex Generators Mk. II - unspecific LM rotor blades -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115417663-3 E I, Rev. 2, Datum: 11.07.2022

[1.2.48] 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

[1.2.49] 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

[1.2.50] 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

Weiteres

- [1.2.51] Email Bestätigung: Gen. C Designlasten decken 120mHH Konfiguration 6 ab,
"LM78.3P Gen C - 99mHH + 120mHH"
Email von Herrn Kaveti am 28.09.22; erhalten von Herrn Keller am 29.09.2022
- [1.2.52] LM Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer
"LM 78.3 P Blade on E-160 with 99m tower – Load Evaluation"
LM Statement erhalten via Email von Herrn Keller am 26.10.2022
- [1.2.53] LM Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer
"Blade LM 78.3 P on E-160, hub height 166m"
Dokument datiert am 14.12.2022
Dateiname: LM Wind Power - LM783P on E-160 hub height 166m.pdf
Erhalten via Email von Herrn Keller am 14.12.2022
- [1.2.54] LM Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer
"LM 78.3 P Generation B blade at Hämelhausen – Load Evaluation"
Dokument datiert am 06.12.2022
Dateiname: LM Wind Power - LM783P GenB at Hämelhausen - Load
Evaluation TR-17311.pdf
Erhalten via Email von Herrn Keller am 14.12.2022

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
- [2.4] IECRE Operational Document IECRE OD-501:
"Type and Component Certification Scheme"
Edition 2.0, dated 2018-05-24
- [2.5] IECRE Operational Document IECRE OD-501-1:
"Conformity assessment and certification of Blade by RECB"
Edition 1.0, dated 2017-09-12

- [2.6] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"
3rd edition, 2005-08 + Amendment 1, 2010-10
- [2.7] International Standard IEC 61400-1:
"Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements"
Edition 4.0, 2019-02

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 Report sowie Design Evaluation Conformity Statement [1.2.1] - [1.2.2] gemäß Norm IEC 61400-22 [2.3] in Kombination mit IEC 61400-1 Ed.3 [2.6] oder IEC 61400-1 Ed.4 [2.7] sowie gemäß IECRE OD-501 [2.4] in Kombination mit OD-501-1 [2.5].

In Revision 6 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Lasten der Konfigurationen 7 und 8 für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. B und Gen. C hinzugefügt. Die Integrität des Rotorblatts wurde in dem Conformity Statement [1.2.10] gemäß OD-501 [2.4] in Kombination mit OD-501-1 [2.5] bestätigt. Des Weiteren wurde die optionale Verwendung der Mk III Serrations für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. A und Gen. B durch Bureau Veritas geprüft und gemäß [1.2.11] bestätigt.

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 [1.2.43] und [1.2.44] 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. [1.2.43] und [1.2.44] 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 Konfig. 7: 25 Jahre	25 Jahre

Tabelle 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 EP5 E2 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 EP5 E2 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 EP5 E2 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]
5	E-160 EP5 E3-ST- 99-FB-C-01/02	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.8], [1.2.31]
6	E-160 EP5 E3- HST-120-FB-C-01	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.8], [1.2.31] + [1.2.51]
7	E-160 EP5 E3 HT- 166-ES-C-01, 9.6 rpm	Gen. B	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II, Mk III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.10], [1.2.34], [1.2.36] + [1.2.53], [1.2.54]
8	E-160 EP5 E3 HT- 166-ES-C-01, 9.6 rpm	Gen. C	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. III	DIBt (2015) S	DIBt (2015) S	Lastvergleich [1.2.10], [1.2.35], [1.2.37]+ [1.2.53]

Tabelle 4.2: Abgedeckte Konfiguration

4.3 Designlasten

Die Lastannahmen sind in der folgenden Tabelle spezifiziert:

Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Nennleistung	Nabenhöhe	Spezifiziert in	Geprüft in
1	E160 EP5 E2 T140M2 / T143M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	140 m / 143 m	[1.2.15], [1.2.16]	[1.2.17]
2	E160 EP5 E2 T120M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	120 m	[1.2.20] - [1.2.22]	[1.2.26]
3	E160 EP5 E2 T166M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	166 m	[1.2.23] - [1.2.25]	[1.2.27]
4	E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.29]	[1.2.30]
5	E-160 EP5 E3-ST-99-FB-C-01/02	50 / 60 Hz	5,56 MW	99 m	[1.2.29]	[1.2.30]
6	E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	120 m		
7	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01, 9.6 rpm	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.29] ¹⁾	[1.2.30]
8	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01, 9.6 rpm	50 / 60 Hz	5,56 MW	166,66 m	[1.2.29] ¹⁾	[1.2.30]

Tabelle 4.3: Abgedeckte Konfiguration

¹⁾ Für die Prüfung der Integrität des Rotorblattes für die Konfigurationen 7 und 8 wurden ausschließlich die in [1.2.29], Rev.5 enthaltenen Lasten gemäß [1.2.38] berücksichtigt.

In den Lastannahmen [1.2.17] und [1.2.18] 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 [1.2.26] und [1.2.27] 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 [1.2.30] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

- 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0,462 Hz
- 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung: 0,763Hz
- Blattmasse (inkl. Blattbolzen): 24753 kg / 24413 kg
- Statisches Moment (Blattwurzel): 601304 kgm / 593141 kgm

In den Lastannahmen [1.2.17], [1.2.26], [1.2.27] und [1.2.30] sind die aerodynamischen Effekte der Anbauteile berücksichtigt.

Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 20 Jahren. Die Auslegungslebensdauer für die Konfigurationen 4 - 8 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 [1.2.12] 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 [1.2.49] ab. Bezüglich der Vortex Generatoren Mk. II wird in [1.2.2] auf die Prüfung in [1.2.47] verwiesen. Die Anbauteile Serrations Mk. II und Mk. III sowie T-Spoiler Mk. II sind in [1.2.2] als auch in [1.2.48] und [1.2.50] 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 [1.2.14] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.12] mit den Lasten der Konfiguration 1 [1.2.15] und [1.2.16] 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 [1.2.19] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.12] mit den Lasten der Konfiguration 2, [1.2.20] - [1.2.22], und Konfiguration 3, [1.2.23] - [1.2.25], 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 [1.2.17], [1.2.26], [1.2.27] und [1.2.30] (bzw. [1.2.32], [1.2.33] und [1.2.39]) geprüft worden.

Für die Einbindung der Konfiguration 5 wurde der Lastvergleich [1.2.31] eingereicht. Darin werden die Designlasten des Rotorblattes LM 78.3 P Gen. C [1.2.13] mit den aktualisierten turbinenspezifischen Lasten [1.2.29] verglichen. Die Richtigkeit der Lasten, die in dem Dokument [1.2.31] herangezogen wurden, wurde durch einen internen Lastvergleich gegen die in dem Bericht geprüften Lasten gemäß [1.2.30] verifiziert. Mit Bezug auf die Konfiguration 6 wurde festgestellt, dass die turbinenspezifischen Extremlasten Teil der in dem Dokument [1.2.29] enthaltenen Lasteinhüllenden sind. Diese Lasteinhüllende wurde in dem eingereichten Lastvergleichsdokument [1.2.31] bei der strukturellen Bewertung des Rotorblattes verwendet. Was die Ermüdungslasten angeht, wurde die Betriebsfestigkeit des Rotorblattes für die Konfiguration 6 mithilfe eines zusätzlichen, internen Lastvergleichs evaluiert. Des Weiteren wurde die Integrität des Rotorblattes anhand von [1.2.51] ergänzend vom Kunden bestätigt.

Für die Prüfung der Konfigurationen 7 und 8 wurden die Lastvergleiche [1.2.34] - [1.2.37] eingereicht, die in dem Konformitätsschreiben [1.2.10] von Bureau Veritas bestätigt wurden. Darin werden die Designlasten der Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. C [1.2.13] bzw. LM 78.3 P Gen. B [1.2.12] jeweils mit denen in dem aktualisierten, turbinenspezifischen Lastbericht [1.2.29] enthaltenen Lasten gemäß [1.2.38] verglichen. Die Richtigkeit der Konfigurationslasten, die jeweils in den Dokumenten [1.2.34] - [1.2.37] herangezogen wurden, wurde durch interne Lastvergleiche verifiziert. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurde die Integrität der betrachteten Rotorblattvarianten anhand der zusätzlich eingereichten Dokumente [1.2.53] und [1.2.54] vom Kunden bestätigt. Die in [1.2.29] enthaltenen Lasten gemäß [1.2.38] wurden in dem Bericht [1.2.30] geprüft. Des Weiteren wurde die optionale Verwendung der Mk III Serrations für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. A und Gen. B durch Bureau Veritas geprüft und gemäß [1.2.11] bestätigt.

5.2 Anmerkungen

In dem eingereichten Lastvergleichsdokument [1.2.31] wurden neben den Extremlasten der Konfiguration 5 auch die Extremlasten der Konfiguration 6 als Einhüllende berücksichtigt, auch wenn das Dokument sich nur auf die Konfiguration 5 bezieht. In Bezug auf die Betriebslasten wurden für die strukturelle Bewertung des Rotorblattes in [1.2.31] ausschließlich die turbinenspezifischen Lasten der Konfiguration 5 berücksichtigt.

Die Anwendung der Serrations Mk III für die Blattvarianten LM78.3 P Gen. A und Gen. B wurde durch Bureau Veritas gemäß [1.2.11] bestätigt. Die entsprechende Aktualisierung u. a. des Komponentenzertifikats [1.2.9] ist zum Zeitpunkt der Erstellung der Revision 6 dieser Gutachtlichen Stellungnahme noch ausstehend und wird gemäß [1.2.11] im Zuge der Revision von [1.2.9] berücksichtigt.

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 [1.2.17], [1.2.26], [1.2.27] und [1.2.30] ab.

Revision 0

Der Lastvergleich [1.2.14] und die Auslegungslasten [1.2.12] 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 [1.2.45] hinzugefügt und die 140 m Nabenhöhe ergänzt, die bereits in den Lastannahmen [1.2.17] 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 [1.2.19] 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. Alle Prüfergebnisse behalten somit ihre Gültigkeit.

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 [1.2.13] bestätigt. In [1.2.6] wird die Gültigkeit mit Konfigurationslasten [1.2.28] bestätigt. Die Gültigkeit der statischen Blatttests gegenüber den Designlasten [1.2.13] und Konfigurationslasten [1.2.28] wird in [1.2.5] bzw. [1.2.6] bestätigt.

Die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.29] wurden in [1.2.30] geprüft. Der interne Vergleich der Konfigurationslasten mit den Designlasten zeigt, dass die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.29] durch die Designlasten in [1.2.13] und Konfigurationslasten in [1.2.28] abgedeckt sind. [1.2.6] kann damit bestätigt werden.

Revision 5

Die Eigenschaften des verwendeten Blattmodells in den Lastannahmen gemäß [1.2.30] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.44] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.30] ab.

Das Lastvergleichsdokument [1.2.31], welches durch das Konformitätsschreiben [1.2.8] von Bureau Veritas evaluiert wurde, bestätigt die strukturelle Integrität des Rotorblattes LM 78.3 P Gen. C für die Konfiguration 5. Ein zusätzlicher interner Abgleich der in dem Lastvergleich [1.2.31] verwendeten Extremlasten mit den entsprechenden Konfiguration 5 Lasten gemäß [1.2.29] zeigt eine gute Übereinstimmung. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurden Abweichungen hinsichtlich der DELs festgestellt. Gemäß Kundenaussage ist der Unterschied in den DELs auf die vereinfachte Betrachtung der Ermüdungslasten in dem Lastvergleich [1.2.31] zurückzuführen. Nichtsdestotrotz zeigt der interne Lastvergleich, dass die in dem Dokument [1.2.31] herangezogenen Lasten grundsätzlich höher sind und damit konservativ. Für Bereiche, die die eigentlichen Turbinenlasten nicht abdecken, sind die geringfügig höheren Lasten laut dem Bestätigungsschreiben vom Kunden gemäß [1.2.52] akzeptabel und für die strukturelle Integrität des Rotorblattes zulässig. Diese Kundenbestätigung wurde als plausibel erachtet.

Neben dem oben genannten und unter Berücksichtigung des im Kapitel 5.1 und 5.2 beschriebenen Sachverhalts hinsichtlich Konfiguration 6 konnte der Lastvergleich [1.2.31] mithilfe zusätzlicher, interner Prüfung und Bewertung bzgl. der strukturellen Blattintegrität für die Konfiguration 6 mit positivem Ergebnis bewertet werden.

Die Gültigkeit des statischen Blatttests, der in [1.2.5] und [1.2.7] evaluiert wurde, wurde in dem Konformitätsschreiben [1.2.8] für die Konfiguration 5 bestätigt. Zusätzlich dazu wurde die Gültigkeit des Blatttests in Bezug auf die Konfiguration 6 verifiziert und konnte ergänzend anhand früherer Projekte mit positiven Ergebnis bestätigt werden.

Revision 6

Die Eigenschaften des verwendeten Blattmodells in den Lastannahmen gemäß [1.2.30] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.43] bzw. gemäß [1.2.44] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.30] ab.

Die Lastvergleichsdokumente [1.2.34] und [1.2.36] bzw. [1.2.35] und [1.2.37], die durch das Konformitätsschreiben [1.2.10] von Bureau Veritas evaluiert wurden, bestätigen jeweils die strukturelle Integrität der Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C für die Konfigurationen 7 und 8. Zusätzliche interne Abgleiche der in den Lastvergleichen [1.2.34] - [1.2.37] verwendeten Extremlasten mit denen in [1.2.29] enthaltenen turbinenspezifischen Lasten gemäß [1.2.38] zeigen eine gute Übereinstimmung. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurden Abweichungen hinsichtlich der DELs festgestellt. Gemäß Kundenaussage ist der Unterschied in den DELs auf die unterschiedliche Auswertungsmethode der Markov-Dateien zwischen ENERCON und LM zurückzuführen. Die internen Lastvergleiche zeigen, dass die in den Dokumenten [1.2.34] - [1.2.37] herangezogenen Lasten grundsätzlich höher und damit konservativ sind. Für Bereiche, die die eigentlichen Turbinenlasten nicht abdecken, sind die geringfügig höheren Lasten laut Bestätigungsschreiben vom Kunden gemäß [1.2.53] und [1.2.54] akzeptabel und für die strukturelle Integrität des Rotorblattes zulässig. Diese Kundenbestätigung wurde für plausibel erachtet.

Die Gültigkeit des statischen Blatttests, der in [1.2.5] und [1.2.7] evaluiert wurde, wurde in dem Konformitätsschreiben [1.2.10] für die Konfigurationen 7 und 8 bestätigt.

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, die Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C 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. (FH) S. Stojkovic

Freigegeben:



Dipl.-Ing. M. Passow

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.

GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME



**Windenergieanlagen ENERCON EP5
- Maschinenbauliche Komponenten -**



TÜV NORD Berichtsnr.: GS-8119201822-004-001-04

Datum: 2023-11-27

Gegenstand der Prüfung	Auslegungsanforderungen für maschinenbauliche Komponenten
Prüfgrundlage	DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
Kunde	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Besondere Hinweise	/

Zuständige(r) Sachverständige(r):	Freigegeben:
 M.Eng. R. Sommerfeld	 M.Sc. N. Hilmes
An der Prüfung beteiligte Sachverständige: Eng. Mecânico F. Rodriguez M.Eng. M. Schiermann	

Herausgeber

TÜV NORD CERT GmbH • Am TÜV 1 • 45307 Essen
Telefon: +49 201 825-0 • Fax: +49 201 825-2517
info.tncert@tuev-nord.de • www.tuev-nord-cert.com
Geschäftsführung: Dipl.-Ing. Wolfgang Wielpütz, Dipl.-Oec. Sandra Gerhartz
Amtsgericht Essen • HRB 9976
USt.-IdNr.: DE 811389923 • Steuer-Nr.: 111/5706/2193

Urheberrechtshinweis

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.

Das Bild auf dem Deckblatt ist urheberrechtlich geschützt durch die Enercon GmbH.

ÄNDERUNGSHISTORIE

Rev.	Datum	Änderungen	Referenznr.	Sachverständige(r)
0	26.11.2021	- Erstausgabe	-	Ralf Sommerfeld
1	04.08.2022	- Bezeichnung Rotorblatt aktualisiert - Schnittstelle zum Turm aktualisiert - Blattverstellgetriebe 4.3.2.2 aktualisiert - Maschinenträger 4.3.9.1 aktualisiert - Rotorrahmen Varianten 4.3.10.2 & 4.3.10.1 (Var.2) aufgenommen - Stator Tragstruktur 4.3.11.1 aktualisiert - Azimutlager 4.3.14.1 & 4.3.14.2 aktualisiert - Azimutgetriebe 4.3.15.1 & 4.3.14.2 aktualisiert - Rotorarretierung 4.3.13.2 hinzugefügt	-	Carla Burges
2	21.09.2022	- Lastannahmen aktualisiert - Design Basis aktualisiert - Bericht Turmkopfflansch aktualisiert - WEA Varianten Nr. 2-3 hinzugefügt - Bedingung A2 aktualisiert	-	Ralf Sommerfeld
3	02.02.2023	- Lastannahmen [1.2.27] aktualisiert - Prüfbericht [1.2.19] aktualisiert - Generatorbezeichnung aktualisiert - Kapitel 5.2 aktualisiert - Kapitel 5.4 Schnittstelle Rotorblatt aktualisiert - Rotorblatt von WEA Variante Nr. 1 in Tabelle 4.1 aktualisiert	-	Ralf Sommerfeld
4	2023-11-27	- Verwendung einer neuen Berichtvorlage und Änderung der Berichtsnummer (vorherige TÜV NORD Berichtsnr. 8119201822-4 D) - Mehrere geprüfte und dazugehörige Dokumente hinzugefügt - ER Design Basis [1.2.22] aktualisiert - Gutachtliche Stellungnahme Turmkopfflansch [1.2.25] hinzugefügt - Blattlager 4.3.1.3 hinzugefügt - Blattverstellgetriebe 4.3.2.3 - 4.3.2.4 hinzugefügt - Rotornabe 4.3.4.2 hinzugefügt - Hauptlager 4.3.5.3 hinzugefügt - Achsdeckel 4.3.8.2 hinzugefügt - Rotorrahmen 4.3.10.3 hinzugefügt - Stator Tragstruktur 4.3.11.2 hinzugefügt - Rotorarretierung 4.3.13.3 hinzugefügt - Azimutlager 4.3.14.3 - 4.3.14.4 hinzugefügt - Azimutgetriebe 4.3.15.3 - 4.3.15.5 hinzugefügt - Kapitel 5.2 Anmerkungen aktualisiert	2022-0084	Ralf Sommerfeld

Rev.	Datum	Änderungen	Referenznr.	Sachverständige(r)
		- Kapitel 5.4 Schnittstellen aktualisiert - WEA E-160 EP5 E3 R1 (WEA-Konfigurationen Nr. 4-7) hinzugefügt		

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

NH	Nabenhöhe
RB	Rotorblatt
WZ	Windzone
GK	Geländekategorie
WEA	Windenergieanlage

INHALTSVERZEICHNIS

1	Dokumente	5
1.1	Geprüfte Dokumente	5
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	7
2	Prüfgrundlagen.....	10
2.1	Technische Regelwerke	10
2.2	Anerkannte Regelwerke	10
3	Einleitung.....	10
4	Beschreibung der Windenergieanlage	10
4.1	WEA-Konfigurationen	10
4.2	Klimatische Bedingungen.....	11
4.3	Beschreibung der Komponenten.....	11
5	Durchgeführte Prüfungen	20
5.1	Prüfmethode.....	20
5.2	Anmerkungen	22
5.3	Prüfergebnisse	22
5.4	Schnittstellen.....	22
6	Auflagen	23
7	Offene Punkte.....	23
8	Zusammenfassung.....	23

1 DOKUMENTE

1.1 Geprüfte Dokumente

Blattlager

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.1]	Liebherr Components Biberach GmbH	Technical data sheet - Lagerwey Blade Bearing EP5; E160 - 12960552	pKUD03355-080WJ18-001_en_00_20210322_Lagerwey_EP5E160_PiB	00	2021-03-08
[1.1.2]	Liebherr Components Biberach GmbH	Report FEA - Blade Bearing 12960552	20210319_fea03355-080WJ018-001_rev1_Lagerwey_EP5_E160_PiB	1	2021-03-19
[1.1.3]	Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH	Technical Data Sheet - Blade Bearing E-160 EP5 E2 - 83850080	19772_02	02	2021-06-30
[1.1.4]	Liebherr Components Biberach GmbH	Technical data sheet Blade Bearing 13703642 (ROD03348-040DJ18-001-000)	TD_ROD03348-040DJ18-001-000_en_02	02	2023-01-17
[1.1.5]	Liebherr Components Biberach GmbH	Report FEA – Blade Bearing ROD03340-040DJ18-001 (13703642)	20230606_fea03348-040DJ18-001_rev1_Enercon_E-160_EP5 E3_R1_PiB	1	2023-06-06

Blattverstellgetriebe

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.6]	Bonfiglioli Trasmital	Technical Report Pitch Drive 711 T3N	I22308D	-	2022-12-01
[1.1.7]	Liebherr Components Biberach GmbH	Calculation Pitchgear E-160 EP5 E3 R1 (13792637)	2022-035-2	-	2022-11-22
[1.1.8]	ENERCON GmbH	Calculation pitch brake E-160 EP5 E3 R1	D02715188	1.1	2023-01-26

Hauptlager

No.	Author	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.9]	Thyssenkrupp rothe erde Slovakia, a.s.	Technical Report - Enercon E-160 EP5 E3 R1, Mainshaft Bearing Calculation	22/27	01	2022-09-29

Rotornabe

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.10]	Enercon GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Hub Casting SAP 1062552 Ultimate and Fatigue Strength	D02811339/0.0-en	0	2023-01-06
[1.1.11]	Lagerwey Wind B.V.	FEA of hub E-160 EP5	M04-C2-40-000648-R0	R0	2020-05-05

Maschinenträger

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.12]	Lagerwey Wind BV	FEA of the EP5-E160-E3 nacelle casting	M02-C2-40-000863-R0	R0	2021-08-20
[1.1.13]	Lagerwey Wind BV	SA of the EP5-E160-E3 nacelle casting	M02-C2-40-000865-R0	R0	2021-08-20

Stator Tragstruktur

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.14]	Lagerwey Wind BV	FEA of the EP5-E160-E3 stator base frame	M03-C2-40-000858-R0	R0	2021-08-10
[1.1.15]	Lagerwey Wind BV	SA of the EP5-E160-E3 stator base frame	M03-C2-40-000859-R0	R0	2021-08-10
[1.1.16]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Stator Base Frame SAP 1064587 Strength Analyses (SA)	D02814930/0.2-en	0	2023-01-12
[1.1.17]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Stator Base Frame SAP 1064587 Finite Element Analyses (FEA)	D02814928/0.1-en	0	2023-01-12

Rotorarretierung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.18]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Generator Locking Device SAP 1063168 Ultimate Strength	D02811343/0.0-en	0	2023-01-06
[1.1.19]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Generator Locking Device SAP 1063168 FEA	D02811342/0.0-en	0	2023-01-06

Azimutlager

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.20]	Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH	Technical Data Sheet rothe erde Large Diameter Slewing Bearing - Yaw bearing E-160 EP5 E3	19934_00	00	2021-03-23
[1.1.21]	Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.	TMB Slewing Bearing Calculation Report - E-160 EP5 E3 Yaw Bearing	CR2020-12-14/2	2	2021-02-19
[1.1.22]	Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH	Technical Data Sheet rothe erde Large Diameter Slewing Bearing - Yaw bearing E-160 EP5 E3	20406_00	00	2021-12-23
[1.1.23]	Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.	TMB Slewing Bearing Calculation Report - E-160 EP5 E3 Yaw Bearing	CR2021-11-29/1	1	2021-11-29
[1.1.24]	TMB Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.	TMB Slewing Bearing Calculation Report E-160 EP5 E3 R1	CR2022-09-24/1	1	2022-09-24
[1.1.25]	Liebherr Components Biberach GmbH	Technical Data Sheet – Wind Turbine Yaw bearing E-160 EP5 E3 R1 13827329	TD_ROD03993-032DJ18-001-000_en_02	02	2023-04-13

Yaw Drive

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.26]	Bonfiglioli Trasmital	Technical Report - Yaw Drive E-160 EP5 E3	I21027D_D_rev2	2	2021-12-06
[1.1.27]	Liebherr Components Biberach GmbH	Calculation Yaw gearbox ENERCON EP5 E3	2021-003-3	3	2021-12-03
[1.1.28]	Bonfiglioli Trasmital	Technical Report Yaw Drive 714 T4W, E-138 EP3 E3 / E-115 EP3 E4 / E-160 EP5 E3 R1	I21402D_rev5	5	2023-01-23
[1.1.29]	Liebherr Components Biberach GmbH	Calculation Yaw gearbox DAT 450/4422 E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3, E-160 EP5 E3 R1	2022 / 036 - 2.0	-	2023-02-10

Azimutarretierung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.30]	ENERCON GmbH	Berechnung Azimutmotor und -bremse E-160 EP5 E3	D02235469	3.1	2022-02-07
[1.1.31]	ENERCON GmbH	Lastaufbereitung Azimutverstellungssystem E-160 EP5 E3 R1	D02735782	1.0	2023-02-02
[1.1.32]	ENERCON GmbH	Berechnung - Nachweis der Azimutbremse E-160 EP5 E3 R1	D02735788	1.0	2023-02-02

Leitschaufeln Generatorkühlung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.33]	Lagerwey Wind BV	Strength analysis distortion vanes for generator cooling	M03-C2-40-000881-R0	R0	2021-09-24

Schraubverbindungen

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.34]	Lagerwey Wind BV	FEA of the EP5-E160-E3 nacelle bolted connections (nacelle to generator)	M02-C2-40-000872-R0	R0	2021-08-20
[1.1.35]	Lagerwey Wind BV	SA of the EP5-E160-E3 nacelle bolted connections (nacelle to generator)	M02-C2-40-000873-R1	R1	2021-11-25
[1.1.36]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Bolted joint at blade flange bearing Ultimate and Fatigue Strength	D02761737/0.0-en	0	2023-01-13

Lastvergleich und Restsicherheitsbetrachtung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.37]	Lagerwey Wind BV	Load set comparison EP5 - E-160 E3 - t98m, t99m, t114m, t120m & t166m IIIA WZ S & IIB WZ S 25yr and Hor W40 + W110 25yr	M00-C2-40-000875-R2	R2	2022-08-09
[1.1.38]	Lagerwey Wind BV	RSA EP5 Mach Components on basis of comparison 40-00875 - EP5 E-160 E3	M00-C2-40-000876-R0	R0	2021-09-02
[1.1.39]	ENERCON GmbH	Load comparison yaw adjustment system E-160 EP5 E3	D02744311	0	2022-08-04
[1.1.40]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Load Comparison	D02833193/1.2-en	1	2023-03-23

Zeichnungsvergleich

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.41]	ENERCON GmbH	Drawing Comparison E-160 EP5 E3	D02690592	0.0	2022-05-19

1.2 Dazugehörige Dokumente

Blattlager

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.1]	ENERCON GmbH	Technical specification Pitch bearing 3RD-m18-z166-143	D02685893	5.0	2022-12-09
[1.2.2]	ENERCON GmbH	Drawing blade flange bearing 3RD-m18-z116-143	D02692943/3.0-de/en	-	2022-12-02

Blattverstellgetriebe

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.3]	ENERCON GmbH	Technical specification Pitch gear m18-z14-b150-i240	D02675126	2.0	2022-11-10
[1.2.4]	ENERCON GmbH	Technical specification Supplement to pitch gear specification E-160 EP5 E3 R1	D02781786	0.0	2022-11-10

Rotornabe

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.5]	Enercon GmbH	General information on the fatigue life calculation for components made of cast iron – Appendix C	D0563370-4	4	2020-07-21

Hauptlager

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.6]	ENERCON GmbH	Technical specification Main bearing E-160 EP5 E3 R1	D02713828	1.0	2022-09-07

Azimutlager

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.7]	ENERCON GmbH	Specification Yaw bearing E-160 EP5 E3	D0971357-4.0	4.0	2020-12-14
[1.2.8]	ENERCON GmbH	Lastaufbereitung Azimutverstellsystem E-160 EP5 E3	D0969770-7.0	7.0	2021-10-28
[1.2.9]	ENERCON GmbH	Specification Yaw bearing E-160 EP5 E3	D02537769-0.1	0.1	2020-12-14
[1.2.10]	ENERCON GmbH	Lastaufbereitung Azimutverstellsystem E-160 EP5 E3	D02537776-0.1	0.1	2021-11-16
[1.2.11]	ENERCON GmbH	Technical specification Yaw bearing 3RD-m22-z168-b210	D02735233	1.0	2022-12-15
[1.2.12]	ENERCON GmbH	Technical specification - Supplement to yaw bearing specification E-160 EP5 E3 R1	D02735430	0.1	2023-01-06
[1.2.13]	ENERCON GmbH	Assembly drawing yaw bearing 3RD-m22-z168-b210	D02758145/0.1-de/en	-	2022-12-06

Azimutgetriebe

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.14]	ENERCON GmbH	Technical specification Yaw gear E-160 EP5 E3	D0971019	5	2021-11-16
[1.2.15]	ENERCON GmbH	Technical specification Yaw Gear m22-z12-b214-i1588	D02219255	2.0	2022-07-15
[1.2.16]	ENERCON GmbH	Technical specification Supplement to yaw gear specification E-160 EP5 E3 R1	D02743477	0.1	2023-01-13

Hydrauliksystem

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.17]	Lagerwey Wind BV	Hydraulic power unit EP5-E3 - design specification	M02-C5-30-10953-R3	R3	2021-04-14

Spezifikation Sphärogussteile

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.18]	ENERCON GmbH	Spezifikation MK 02 004 – Qualitätssicherung Sphärogussteile	D0246506-2	2	2017-06-28

Dazugehörige Prüfberichte

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.19]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report - Wind Turbine Platform LP4 / EP5 - Machinery Components -	8114242475-4 E	15	2022-12-19
[1.2.20]	TÜV SÜD Industrie Service GmbH	Gutachtliche Stellungnahme - Bewertung der Konstruktion - Maschinenbauliche Komponenten - Windenergieanlage ENERCON / Lagerwey E160 EP5 E1	3217980-75-d	2	2021-01-15
[1.2.21]	TÜV SÜD Industrie Service GmbH	Gutachtliche Stellungnahme - Bewertung der Konstruktion - Strukturkomponenten Windenergieanlage ENERCON/Lagerwey E-160 EP5 E1	3217980-7-d	2	2021-01-15
[1.2.22]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report - Wind Turbine Platform ENERCON EP5 - Design Basis -	8114242475-0 E I	12	2023-02-07
[1.2.23]	DNV GL Energy Renewable Certification	Evaluation Report - Allowable Gear Stress Numbers acc. to ISO 6336-5, Liebherr Components Biberach GmbH	ER-DE-ISO6336-04848- 1		2019-05-02
[1.2.24]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3, verschiedene Nabenhöhen und Windzonen - Turmkopfflansch -	8119616205-11 D	1	2021-11-29
[1.2.25]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, verschiedene Nabenhöhen und Windzonen - Turmkopfflansch -	8121329336-11 D	1	2023-11-15

Hauptzeichnung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.26]	ENERCON GmbH	Nacelle E-160 EP5 E3	D02399059/0.1-de/en	-	2021-06-17

Lastannahmen

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.27]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -	8119201822-1 D IV	2	2022-12-19
[1.2.28]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -	8120863590-1 D IV	0	2023-11-09

2 PRÜFGRUNDLAGEN

2.1 Technische Regelwerke

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.1.1]	DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung	Okt. 2012, korr. 2015	2015-03

2.2 Anerkannte Regelwerke

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.2.1]	DIN EN IEC 61400-1 Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen, Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019	-	2019-12

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.

Mit Rev. 4 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde der WEA-Typ E-160 EP5 E3 R1 (WEA-Konfigurationen 4-7 in Tabelle 4.1) und mehrere zugehörige Komponenten auf Grundlage von Lastvergleichen, Restsicherheitsbetrachtungen sowie neuen Auslegungsberechnungen hinzugefügt. Des Weiteren wurde eine neue Berichtsvorlage und -nummer verwendet.

4 BESCHREIBUNG DER WINDENERGIEANLAGE

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer WEA Variante Nr. 1-7:	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 E3 EP5-GU-01 & E-160 E3 EP5-GU-02
Generatorhersteller:	ENERCON GmbH

4.1 WEA-Konfigurationen

Die Eignung der maschinenbaulichen Komponenten wurde für die in Tabelle 4.1 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 [1.2.27] - [1.2.28] zu entnehmen sind.

Diese Gutachtliche Stellungnahme gilt für die folgenden Konfigurationen der Windkraftanlage:

Konfig.- Nr.	WEA Bezeichnung	Nenn- leistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	WEA- Klasse	Gelände- kategorie	Lastan- nahmen geprüft in
1	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen B & C	166,66 m (E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.27]
2	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	120 m (E-160 EP5 E3-HST- 120-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.27]
3	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	99 m (E-160 EP5 E3-ST- 99-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.27]
4	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	99 m (E-160 EP5 E3 R1- ST-99-FB-C-01/02)	WZ S	GK S	[1.2.28]
5	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	120 m (E-160 EP5 E3 R1- HST-120-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.28]
6	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	166,6 m (E-160 EP5 E3 R1- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.28]
7	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	160 m (E-160 EP5 E3 R1- HT-160-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.28]

*Vereisungsklima berücksichtigt

Tabelle 4.1: Abgedeckte WEA-Konfigurationen

4.2 Klimatische Bedingungen

Die maschinenbaulichen Komponenten wurden für die in Tabelle 4.2 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Normal Climate (NC)	-10 °C < t < 40 °C	-20 °C < t < 50 °C

Tabelle 4.2 Klimatische Bedingungen

4.3 Beschreibung der Komponenten

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 [1.2.19] bzw. [1.2.20]/[1.2.21] entnommen.

4.3.1 Blattlager

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.1.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: 13703642
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: ROD03348-040DJ18-001-000, Rev. 00.18, vom 02.01.2023
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.2 Blattverstellgetriebe

4.3.2.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.2.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: DAT 400/3460
Produktcode: 12865698
Getriebeübersetzung: 175
Hauptzeichnung Nr.: 368 460 4000 99 0, Rev. 04.3, vom 07.09.2020
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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.2.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Bonfiglioli Trasmital
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: 711 T3N
Produktcode: JZ00006008
Getriebeübersetzung: 240,3
Hauptzeichnung Nr.: CD00022149, Rev. B, vom 10.03.2023
Schnittzeichnung Nr.: AD00008112, Rev. -, vom 15.09.2022
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: YZ00011612, Rev. A, vom 17.02.2023
Motorbezeichnung: Bonfiglioli JB00029516
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.2.4 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: DAT 400/4445
Produktcode: 13792637
Getriebeübersetzung: 247,9
Hauptzeichnung Nr.: 13792637-99, Rev. 02.3, vom 05.12.2022
Schnittzeichnung Nr.: 13792637-00, Rev. 01.1, vom 07.12.2022
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 460 4000 10 0, Rev. 04.1, vom 22.11.2022
Motorbezeichnung: Bonfiglioli JB00029516
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.3 Blattarretierung

4.3.3.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2+N/ S690QL
Hauptzeichnung Nr.: 20-902797, Rev. D, vom 03.05.2018
Anwendung: 1-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.4 Rotornabe

4.3.4.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.4.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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.: D02793440/0.0-de/en, Rev. -, vom 15.12.2022
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.5 Hauptlager

4.3.5.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.5.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.5.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Thyssenkrupp rothe erde Slovakia, a.s.
Typ: Kegelrollenlager
Handelsbezeichnung: PSL612-402-1
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-402-1-PV, Rev. 1, vom 17.08.2022
Hinweis: Zwei Kegelrollenlager in O-Anordnung
Anwendung: 3-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.6 Achszapfen

4.3.6.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.7 Rotorträger

4.3.7.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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
Anwendung: 1-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.8 Achsdeckel

4.3.8.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.: 20-031514, Rev. B, vom 15.09.2020
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.8.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.: D02749044/0.0-de/en, Rev. -, vom 29.09.2022
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.9 Maschinenträger

4.3.9.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: ENERCON GmbH
Typ: Gussteil
Material: EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.: D02163255/1.0-de/en, Rev. 1, vom 17.11.2021
Anwendung: 1-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.10 Rotorrahmen

4.3.10.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S235JR/S355J2
Hauptzeichnung Nr. (Var.1): 20-031743, Rev. D, vom 08.01.2021
Hauptzeichnung Nr. (Var.2): 20-032181, Rev. A, vom 26.11.2020
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.10.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Enercon GmbH
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2
Hauptzeichnung Nr.: D02484152/0.0, Rev. 0.0, vom 01.02.2022
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.10.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Enercon GmbH
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2
Hauptzeichnung Nr.: D02683567/1.0-de/en, Rev. -, vom 07.10.2022
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.11 Stator Tragstruktur

4.3.11.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: S235JR/S355J2/S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.: 20-032148, Rev. B, vom 26.08.2021
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.11.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Enercon GmbH
Typ: Stahlbauteil
Material: S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.: D02734342, Rev. 2.0, vom 18.11.2022
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.12 Wartungsbremse

4.3.12.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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 A2
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.13 Rotorarretierung

4.3.13.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Lagerwey Wind BV
Typ: Stahlbauteil
Material: 34CrNiMo6
Hauptzeichnung Nr.: 20-030787, Rev. B, vom 30.01.2017
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.13.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Trebu Technology B.V.
Typ: Stahlbauteil
Material: 34CrNiMo6+QT
Hauptzeichnung Nr.: 20-1349, Rev. C, vom 26.07.2022
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.13.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: ENERCON GmbH
Typ: Stahlbauteil
Material: 34CrNiMo6
Hauptzeichnung Nr.: D02781529/0.0-de/en, Rev. -, vom 21.12.2022
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.14 Azimutlager

4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 37030990
Material: 42CrMo4 V / Q+T
Hauptzeichnung Nr.: 092.55.3996.001.48.150D, Rev. B, vom 23.12.2021
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.14.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: Y033.60.3993K
Material: 42CrMo4 + QT
Hauptzeichnung Nr.: Y033.60.3993K3, Rev. -, vom 26.11.2021
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.14.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: Y133.38.3993K
Material: 42CrMo4
Hauptzeichnung Nr.: Y133.38.3993K, Rev. -, vom 02.12.2022
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.14.4 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: 13827329
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: ROD03993-032DJ18-001-000, Rev. 00.2, vom 30.01.2023
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.15 Azimutgetriebe

4.3.15.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: 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. C, vom 17.03.2022 (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
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.15.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 450/4405
Produktcode:	13434316
Getriebeübersetzung:	1857,69
Hauptzeichnung Nr.:	13434316-99, Rev. 04.2, vom 03.12.2021
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
Anwendung:	1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.15.3 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Bonfiglioli Trasmital
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	714 T4W
Produktcode:	JB00029633
Getriebeübersetzung:	1583
Hauptzeichnung Nr.:	CD00024217, Rev. -, vom 30.11.2022
Schnittzeichnung Nr.:	AD0006416, Rev. A, vom 21.01.2022
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	YP00021351, Rev. -, vom 03.05.2021
Motorbezeichnung:	Bonfiglioli JB00025049
Anzahl Antriebe:	8
Anwendung:	4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.15.4 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 450/4422 (NC)
Produktcode:	13521946 (NC)
Getriebeübersetzung:	1592,31
Hauptzeichnung Nr.:	13521946-99, Rev. 03.6, vom 10.02.2023
Schnittzeichnung Nr.:	468 422 4000 00 0, Rev. 03.5, vom 19.01.2023
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	13714613-00, Rev. 00.1, vom 12.11.2021
Motorbezeichnung:	Bonfiglioli JB00025049
Anzahl Antriebe:	8
Anwendung:	4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.15.5 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 450/4422-V1 (CC)
Produktcode:	13856204 (CC)
Getriebeübersetzung:	1592,31
Hauptzeichnung Nr.:	13856204-99, Rev. 00.2, vom 15.02.2023
Schnittzeichnung Nr.:	468 422 4000 00 0, Rev. 03.5, vom 19.01.2023
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	13714613-00, Rev. 00.1, vom 12.11.2021
Motorbezeichnung:	Bonfiglioli JB00025049
Anzahl Antriebe:	8
Anwendung:	4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.16 Hydrauliksystem

4.3.16.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Lagerwey Wind BV
Hydraulikschema Nr.:	20-022649, Rev. D, vom 31.03.2021
Anwendung:	1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.17 Leitschaufeln Generatorkühlung (optional)

4.3.17.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	Lagerwey Wind BV
Material:	Diverse, siehe Hauptzeichnung
Hauptzeichnung Nr.:	20-032379, Rev. A, vom 18.02.2021
Hinweis:	Optionale Komponente (s. a. Kapitel 0)
Anwendung:	1-3 (siehe Tabelle 4.1)

5 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN

5.1 Prüfmethode

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 in den Dokumenten [1.2.27] - [1.2.28] 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.

Mechanische Komponenten und Antriebe

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

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

Die 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.

Haupttragende Strukturen

Die Bewertung der haupttragenden Strukturen bezieht sich auf Auslegungsnachweise von Komponenten 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.

5.2 Anmerkungen

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.

Das Azimutsystem (Azimutlager, Azimutgetriebe, Azimutarretierung) der Windenergieanlage E-160 EP5 E3 wurde unter Berücksichtigung der Lasten D02458028 (AUR) aus dem Lastbericht D02463290, geprüft mit der Gutachtlichen Stellungnahme [1.2.27], nachgewiesen und geprüft. Für alle weiteren Komponenten wurden die Lasten D02455948 (BV) aus [1.2.27] berücksichtigt.

Die zulässigen Zahnfuß- sowie Zahnflankenspannungen der Azimutgetriebe 4.3.15.2, 4.3.15.4, 4.3.15.5 und des Blattverstellgetriebes 4.3.2.4 wurden dem Prüfbericht [1.2.23] entnommen.

Die Windenergieanlagen E-160 EP5 E3 (WEA-Konfigurationen Nr. 1-3 gem. Tabelle 4.1) können optional mit Leitschaufeln für die Generatorkühlung (s. 4.3.17.1) ausgestattet werden.

5.3 Prüfergebnisse

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.

5.4 Schnittstellen

- I1 Die Schraubverbindung von Rotorblatt und Blattlager ist Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung.

Spezifikation des Rotorblatts:	LM 78.3 P Gen B & C (E-160 EP5 E3)
Min./max. Vorspannkraft der Schrauben:	321 kN / 450 kN

Spezifikation des Rotorblatts:	LM 78.3 P Gen C (E-160 EP5 E3 R1)
Min./max. Vorspannkraft der Schrauben:	356.1 kN / 534.2 kN

- I2 Die Schraubverbindung des Azimutlagers zum Turmkopfflansch sowie zum Maschinenträger ist nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung (siehe Gutachtliche Stellungnahmen [1.2.24] & [1.2.25]).

- I3 Der Turmkopfflansch ist nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung.

6 AUFLAGEN

- A1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- A2 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.
- A3 Die Hinweise und Auflagen in den Prüfberichten [1.2.19] - [1.2.25] sind zu berücksichtigen.

7 OFFENE PUNKTE

Keine

8 ZUSAMMENFASSUNG

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 Kapitel 5.2 aufgeführten Anmerkungen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Kapitel 6 genannten Auflagen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.1, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

- Ende des Berichtes -

GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME

Windenergieanlagen ENERCON EP5



- Verkleidungen & Strukturen -



TÜV NORD Berichtsnr.: GS-8119201822-012-001-04

Datum: 2023-11-27

Gegenstand der Prüfung	Auslegungsanforderungen für Verkleidungen und Strukturen
Prüfgrundlage	DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
Kunde	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Besondere Hinweise	/

Zuständige(r) Sachverständige(r):	Freigegeben:
 M.Eng. R. Sommerfeld	 M.Sc. N. Hilmes
An der Prüfung beteiligte Sachverständige: Eng. Mecânico F. Rodriguez	

Herausgeber

TÜV NORD CERT GmbH • Am TÜV 1 • 45307 Essen
Telefon: +49 201 825-0 • Fax: +49 201 825-2517
info.tncert@tuev-nord.de • www.tuev-nord-cert.com
Geschäftsführung: Dipl.-Ing. Wolfgang Wielpütz, Dipl.-Oec. Sandra Gerhartz
Amtsgericht Essen • HRB 9976
USt.-IdNr.: DE 811389923 • Steuer-Nr.: 111/5706/2193

Urheberrechtshinweis

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.

Das Bild auf dem Deckblatt ist urheberrechtlich geschützt durch die Enercon GmbH.

ÄNDERUNGSHISTORIE

Rev.	Datum	Änderungen	Referenznr.	Sachverständige(r)
0	2021-11-26	- Erste Fassung	-	Ralf Sommerfeld
1	2022-06-07	- Bezeichnung Rotorblatt in Tabelle 4.1 aktualisiert - Anschlagpunkte [1.1.6] aktualisiert	-	Francisco Rodriguez
2	2022-09-21	- Lastannahmen aktualisiert - Design Basis aktualisiert - WEA Varianten Nr. 2-3 hinzugefügt	-	Ralf Sommerfeld
3	2023-02-02	- Lastannahmen [1.2.4] aktualisiert - Rotorblatt von WEA Variante Nr. 1 in Tabelle 4.1 aktualisiert	-	Ralf Sommerfeld
4	2023-11-27	- Verwendung einer neuen Berichtvorlage und Änderung der Berichtsnummer (vorherige TÜV NORD Berichtsnr. 8119201822-12 D) - Mehrere geprüfte Dokumente hinzugefügt - ER Design Basis [1.2.3] aktualisiert - Gondelverkleidung 4.3.1.2 hinzugefügt - Dacheinheit 4.3.3.1 hinzugefügt - WEA E-160 EP5 E3 R1 (WEA-Konfigurationen Nr. 4-7) hinzugefügt	2022-0084	Ralf Sommerfeld

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

NH	Nabenhöhe
RB	Rotorblatt
WZ	Windzone
GK	Geländekategorie
WEA	Windenergieanlage

INHALTSVERZEICHNIS

1	Dokumente	5
1.1	Geprüfte Dokumente	5
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	5
2	Prüfgrundlagen.....	6
2.1	Technische Regelwerke	6
2.2	Anerkannte Regelwerke	6
3	Einleitung.....	6
4	Beschreibung der Windenergieanlage	7
4.1	WEA-Konfigurationen	7
4.2	Klimatische Bedingungen.....	7
4.3	Beschreibung der Verkleidungen und Strukturen.....	8
5	Durchgeführte Prüfungen	9
5.1	Prüfmethode.....	9
5.2	Anmerkungen	10
5.3	Prüfergebnisse	10
6	Auflagen	10
7	Offene Punkte.....	10
8	Zusammenfassung.....	10

1 DOKUMENTE

1.1 Geprüfte Dokumente

Gondelverkleidung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.1]	ENERCON GmbH	Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 Machine House Cover Statics	D02451986	0.0	2021-08-07
[1.1.2]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 E- Nacelle SAP 1055358 Ultimate Strength	D02815169/1.0	1.0	2023-03-06

Gondelbühne

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.3]	ENERCON GmbH	Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 Gondelbühne Statik	D02437829	1.1	2021-08-12

Bodenplatten

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.4]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 E- Nacelle, floor panels SAP 1055358 Live Loads	D02894498/0.0	0.0	2023-04-20

Dacheinheit

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.5]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Roof Module and Anchorage Points SAP 1071404 Ultimate Strength	D02833304/1.0-en	1	2023-03-10

Anschlagpunkte

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.6]	ENERCON GmbH	Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 Anchorage Points at Nacelle Ultimate Strength	D02457731	1.0	2022-02-25
[1.1.7]	ENERCON GmbH	ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Anchorage Points at Nacelle Ultimate Strength	D02809635/0.3	0	2023-01-27

1.2 Dazugehörige Dokumente

Gondelverkleidung

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.1]	ENERCON GmbH	Kundenspezifikation ENERCON für EN AW 5754 (H111)	D0295946	0	2008-07-07

Anschlagpunkte

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.2]	ENERCON GmbH	Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung	D0448398	1	2016-12-10

Dazugehörige Prüfberichte

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.3]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report - Wind Turbine Platform ENERCON EP5 - Design Basis -	8114242475-0 E I	12	2023-02-07

Lastannahmen

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.4]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-160 EP5 E3, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -	8119201822-1 D IV	2	2022-12-19
[1.2.5]	TÜV NORD CERT GmbH	Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, verschiedene NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -	8120863590-1 D IV	0	2023-11-09

2 PRÜFGRUNDLAGEN

2.1 Technische Regelwerke

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.1.1]	DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung	Okt. 2012, korr. 2015	2015-03

2.2 Anerkannte Regelwerke

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.2.1]	DIN EN IEC 61400-1 Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen, Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019	-	2019-12
[2.2.2]	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		2008-11

3 EINLEITUNG

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

Mit Rev. 4 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden Verkleidungen und Strukturen für die WEA E-160 EP3 E3 R1 (siehe WEA-Konfigurationen 4-7 in Tabelle 4.1) auf der Grundlage von neuen Auslegungsberechnungen hinzugefügt. Des Weiteren wurde eine neue Berichtsvorlage und -nummer verwendet.

4 BESCHREIBUNG DER WINDENERGIEANLAGE

Anlagentyp: E-160 EP5 E3 & E-160 EP5 E3 R1
Auslegungslbensdauer: 25 Jahre

4.1 WEA-Konfigurationen

Die Eignung der Verkleidungen und Strukturen wurde für die in Tabelle 4.1 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 [1.2.4] - [1.2.5] zu entnehmen sind.

Diese Gutachtliche Stellungnahme gilt für die folgenden Konfigurationen der Windkraftanlage:

Konfig.-Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	WEA-Klasse	Geländekategorie	Lastannahmen geprüft in
1	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen B & C	166.66 m (E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.4]
2	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	120 m (E-160 EP5 E3-HST- 120-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.4]
3	E-160 EP5 E3*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	99 m (E-160 EP5 E3-ST- 99-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.4]
4	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	99 m (E-160 EP5 E3 R1- ST-99-FB-C-01/02)	WZ S	GK S	[1.2.5]
5	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	120 m (E-160 EP5 E3 R1- HST-120-FB-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.5]
6	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	166,6 m (E-160 EP5 E3 R1- HT-166-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.5]
7	E-160 EP5 E3 R1*	5.56 MW	LM 78.3 P Gen C	160 m (E-160 EP5 E3 R1- HT-160-ES-C-01)	WZ S	GK S	[1.2.5]

*Vereisungsklima berücksichtigt

Tabelle 4.1: Abgedeckte WEA-Konfigurationen

4.2 Klimatische Bedingungen

Die Verkleidungen und Strukturen wurden für die in Tabelle 4.2 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Normal Climate (NC)	-10 °C < t < 40 °C	-20 °C < t < 50 °C

Tabelle 4.2 Klimatische Bedingungen

4.3 Beschreibung der 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

Entwickelt von: ENERCON GmbH
Typ: Aluminium- und Stahlstruktur
Material: S235JR, S355J2, AlMg3 (EN AW 5754, H111)
Hauptzeichnung Nr.: D02457863_2.0
MD5-Checksum: 6b358bc73eb6f46fcb91a637c6bb9d09
Extremwindgeschw. ve50: 54 m/s
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: ENERCON GmbH
Typ: Stahlstruktur
Material: S235JR, S355J2
Hauptzeichnung Nr.: D02866019_0.0
MD5-Checksum: b0bb0e1f3096950be7ca03c7db83272a
Extremwindgeschw. ve50: 52,5 m/s
Hinweis: Inkl. Gondelbühne, Bodenplatten und Anschlagpunkte
Anwendung: 4-7 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.2 Gondelbühne

4.3.2.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von: ENERCON GmbH
Typ: Aluminium- und Stahlstruktur
Material: S235JR, S355J2, AlMg3 (EN AW 5754, H111)
Hauptzeichnung Nr.: D02457863_2.0
MD5-Checksum: 6b358bc73eb6f46fcb91a637c6bb9d09
Extremwindgeschw. ve50: 54 m/s
Anwendung: 1-3 (siehe Tabelle 4.1)

4.3.3 Dacheinheit

4.3.3.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR, S355J2+N
Hauptzeichnung Nr.:	D02825661/0.1-de/en, Rev. -, vom 31.01.2023
Extremwindgeschw. ve50:	54,54 m/s
Hinweis:	Inkl. Anschlagpunkte
Anwendung:	4-7 (siehe Tabelle 4.1)

5 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN

5.1 Prüfmethode

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.

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.

5.2 Anmerkungen

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für maschinenbauliche Komponenten und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Die 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.

5.3 Prüfergebnisse

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei den aufgetragenen Einwirkungen vorhanden sind.

6 AUFLAGEN

- A1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- A2 Für jede Art von Hebezeugen und integrierten Kränen gelten die nationalen Anforderungen der jeweiligen Maschinenrichtlinie unter Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschrift (DGUV).
- A3 Es dürfen sich maximal zwei Personen gleichzeitig auf dem Gondeldach befinden.

7 OFFENE PUNKTE

Keine

8 ZUSAMMENFASSUNG

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 Kapitel 5.2 aufgeführten Anmerkungen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Kapitel 6 genannten Auflagen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.1 keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

- Ende des Berichtes -

Gutachtliche Stellungnahme

**für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1,
verschiedene Nabenhöhen und Windzonen**

- Turmkopfflansch -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8121329336-11 D Rev. 0

Gegenstand der Stellungnahme: Turmkopfflanschbaugruppe gemäß DIBt
Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korri-
gierte 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 7 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Prüfer
0	22.06.2023	Erstausgabe	C. Gröning

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnung von ENERCON GmbH

[1.1.1] ENERCON GmbH:

„Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange Ultimate and Fatigue Strength for Loads according to: IEC ed. 4, WC IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ S“,

Dokument Nr.: D02811369/1.0-en,
Rev. 1, Datum: 18.01.2023

Lastvergleich von ENERCON GmbH

[1.1.2] ENERCON GmbH:

„Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Load Comparison Ultimate and Fatigue Strength for Loads according to: IEC 61400-1 ed. 4, WC IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ2“,

Dokument Nr.: D02833193-0.2,
Rev. 0.2, Datum: 31.01.2023

Zeichnung von ENERCON GmbH

[1.1.3] ENERCON GmbH:

„Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“,
Zeichnungs-Nr.: D02133917/0.1-de/en,
Rev. 0.1, Datum: 05.02.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen

[1.2.1] ENERCON GmbH:

„Load report Machine E-160 EP5 E3R1 Covering fatigue and extreme loads for the E-160 EP5 E3R1 with the rotor blade LM78.3P_2P as per DIBt and IEC ed. 4“

Dokument Nr.: D02772385-0.3,
Rev. 0.3, Datum: 31.01.2023

[1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1, RB LM 78.3 P, verschiedene NH , DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau - “,

Dokument Nr.: 8120863590-1 D IV,
Rev. 0, Datum: 12.06.2023

Zeichnungen zur Turmkopfbaugruppe

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Azimutlager 3RD-m22-z168-b210“
Zeichnungs-Nr.: D02758145_0.1-de/en
Rev. 0.1, Datum: 06.12.2022
- [1.2.4] ENERCON GmbH:
„EP5-MC-01 Maschinenträger“,
Zeichnungs-Nr.: D02163255/0.0-de/en,
Rev. 0, Datum: 29.03.2021

Spezifikation

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
„Installation specifications for bolt connections in mechanical engineering“
Dokument Nr.: D0977320-0
Rev. 6, Datum: 11.05.2020

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 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 1993-1-8:2010-12 + DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“
- [2.4] 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“
- [2.5] 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 Dicke- richtung“
- [2.6] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen“

3 Einleitung

Gegenstand dieser Stellungnahme ist die Prüfung der Turmkopfflanschbaugruppe. Diese umfasst den Kopfflansch, die Schweißnaht zwischen Kopfflansch und Turmwand, sowie die Schrauben, welche den Flansch mit dem Azimutlager und das Azimutlager mit dem Maschinenträger verbinden. Die Prüfung erfolgt hinsichtlich struktureller Integrität im Sinne der DIBt-Richtlinie ([2.1]) für die in [1.2.1] aufgeführten Lastkonfigurationen.

4 Beschreibung

4.1 Turmkopfflansch

Der Turmkopfflansch ([1.1.3]) ist ein innenliegender L-Flansch mit einem Innendurchmesser von 3966 mm (an der anschließenden Turmwand) und einem Außendurchmesser von 4036 mm. Die Gesamthöhe des Flansches ist 225 mm, die Dicke der Flanschnase beträgt 35 mm.

Der Flansch wird mit dem Azimutlager ([1.2.3]) mittels 150 Schrauben M30 verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger ([1.2.4]) wird durch 178 Schrauben M30 hergestellt.

Der Turmkopfflansch ist für die Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 vorgesehen.

4.2 Lastannahmen

Konfigurationen

Die Turmkopfflanschbaugruppe wurde für die in [1.2.1] aufgeführten Lasten nachgewiesen. Die Ermüdungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

4.3 Baustoffe

Kopfflansch: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (nahtlos geschmiedet)
 $R_{eH} = 275 \text{ MPa}$

Maschinenträger: Gusseisen 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 $F_{V, \text{nom}} = 512,5 \text{ kN}$ (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 den eingereichten statischen Berechnungen ([1.1.1] und [1.1.2]) für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Zum Prüfumfang gehört die Kopfflanschbaugruppe, bestehend aus dem Kopfflansch, der Schweißnaht zwischen Turmwand und Flansch, sowie den Schrauben zwischen den folgenden beiden Verbindungen: a) Flansch und Azimutlager und b) Azimutlager und Maschinenträger.

Transportzustände sowie Zustände während der Montage sind nicht Bestandteil der Prüfung.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Für die Bemessung der Kopfflanschbaugruppe wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt Richtlinie 2012 (korrigierte Fassung März 2015, [2.1]) berücksichtigt. Die Schrauben sind nach VDI 2230 ([2.6]) ausgelegt.

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweiß- und Schraubverbindung wurde mit $\gamma_{Mf} = 1,25$ angesetzt.

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden in [1.1.1] nicht-lineare Übertragungsfunktionen mittels der Finite-Elemente-Methode hergeleitet. Der zugrunde liegende Aufbau des Turmkopfes kann [1.1.3], [1.2.3] und [1.2.4] entnommen werden.

Für die Prüfung wurde eine minimale Schraubenvorspannkraft von $F_v = 288 \text{ kN}$ (Verbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager) bzw. $F_v = 333 \text{ kN}$ (Verbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger) angenommen.

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

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Turm

- 5.4.1 Die Auslegungslasten des Turmkopfflansches müssen kleiner oder gleich den Lastannahmen aus [1.2.1] sein.
- 5.4.2 Die in [1.1.3] genannten Anforderungen hinsichtlich der Ausführung der Schweißnaht, der Neigung der Turmwand und der zulässigen Einbauten an der Turmwand sind bei der Turmauslegung zu berücksichtigen.

Installation und Inbetriebnahme

- 5.4.3 Spezifikation [1.2.5] legt Anweisungen für die Montage der Schraubverbindungen fest. Die in 4.3 genannten Anziehverfahren sind zu berücksichtigen.

6 Auflagen

- 6.1 Das für den Kopfflansch verwendete Material muss mindestens eine Streckgrenze $R_{eH} = 275 \text{ MPa}$ aufweisen.


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.

Konstruktive Änderungen der Kopfflanschbaugruppe sind dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen und einer Bewertung zu unterziehen. Andernfalls verliert diese gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Prüfer:



M.Eng. C. Gröning

Freigegeben:



Dr.-Ing. T. Rutkowski