

# **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. 6**

<b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung</b>	<b>3443492-3-d Rev. 7 vom 04.07.2024</b>
<b>2. Hybridturm</b>	<b>3443492-1-d Rev. 4 vom 26.06.2024</b>
2.1. Übersichtsplan Gesamtturm	D02405551-7
2.2. Übersichtsplan Stahlturm	D02405556-3
<b>3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m</b>	<b>3443492-20 Rev. 5 vom 26.06.2024</b>
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	D02405555-10
<b>4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m</b>	<b>3443492-5-d Rev. 4 vom 26.06.2024</b>
4.0. Fundamentdatenblatt	D-02567170-2
4.1. Schalplan Variante R0	D-02456047-4
4.2. Bewehrungsplan 1 Variante R0	D-02456040-3
4.3. Bewehrungsplan 2 Variante R0	D-02456043-3
4.4. Bewehrungsplan 3 Variante R0	D-02456046-3
4.5. Schalplan Variante R1	D-02456047-5
4.6. Bewehrungsplan 1 Variante R1	D-02456040-4
4.7. Bewehrungsplan 2 Variante R1	D-02456043-4
4.8. Bewehrungsplan 3 Variante R1	D-02456046-4

## **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- 001-03 Rev.3 vom 24.01.2024**

- 6.1. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau**  
8120863590-001-004-01 vom 11.01.2024
- 6.2. Lastannahmen für Turm und Fundament**  
8120863590-1 D V Rev. 1 vom 29.11.2023
- 6.3. Sicherheitssystem und Handbücher**  
8119201822-2 D Rev. 3 vom 09.11.2023
- 6.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz**  
8120863590-005-002-00 vom 04.10.2023
- 6.5. Rotorblatt**  
8118796497-003-001-07 vom 17.01.2024
- 6.6. Maschinenbauliche Komponenten**  
8119201822-004-001-04 vom 27.11.2023
- 6.7. Verkleidung und Strukturen**  
8119201822-012-001-04 vom 27.11.2023
- 6.8. Turmkopfflansch**  
8121329336-11 D Rev. 1 vom 15.11.2023

**Mit Ausnahme des Prüfbescheids und der Inhaltsübersicht ist die Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentation streng vertraulich zu behandeln, da es sich um Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse handelt, diese dürfen daher nicht öffentlich ausgelegt werden.**

## 7.Revisionstabelle

Datum	Änderung
20.12.2021 Rev. 0	<b>Dokument erstellt</b> 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	<b>Dokument erstellt</b> 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	<b>Dokument erstellt</b> <b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 2 vom 08.02.2023</b> <b>2. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-4-d Rev. 2 vom 08.02.2023</b> <b>3. Hybridturm 3443492-1-d Rev. 1 vom 07.02.2023</b> <b>4. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 2 vom 07.02.2023</b> <b>5. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 1 vom 07.02.2023</b> 5.3. Bewehrungsplan 1 D02456040-2 5.4. Bewehrungsplan 2 D02456043-2 5.5. Bewehrungsplan 3 D02456046-2 <b>6. Gutachterliche Stellungnahmen 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023</b> 6.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8119201822-1 D I Rev. 2 vom 19.12.2022 6.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 1 vom 11.10.2022 6.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8114242475-5 D Rev. 9 vom 18.01.2023 6.5. Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023 6.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-4 D Rev. 3 vom 02.02.2023 6.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-12 D Rev. 3 vom 02.02.2023
06.12.2023 Rev. 3	<b>Dokument erstellt</b> <b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. vom 12.10.2023</b> <b>2. Hybridturm 3443492-1-d Rev. 2 vom 19.09.2023</b> 2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02405551-6 2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02405556-3 <b>3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 3 vom 12.10.2023</b> 3.1 Fundamentdatenblatt D02397376-4 3.2 Schalplan D02405554-5 3.3. Bewehrungsplan D02405555-4 <b>4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 2 vom 12.10.2023</b> 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 <b>5. Gutachterliche Stellungnahmen 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023</b> 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 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
13.12.2023 Rev. 4	<b>Dokument erstellt</b> <b>1 Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 4 vom 05.12.2023</b> <b>2 Hybridturm 3443492-1-d Rev.3 vom 16.11.2023</b> 2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02405551-6 2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02405556-3 <b>3. Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 4 vom 16.11.2023</b> 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 <b>4. Tiefgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443792-5-d Rev. 2 vom 12.10.2023</b> <b>5. Gutachterliche Stellungnahmen Variante R0 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023</b> <b>6. Gutachterliche Stellungnahmen Variante R1 8121951519-100-001 Rev. 0 vom 27.11.2023</b> 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

18.03.2024 Rev. 5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 6 vom 26.02.2024</b></li> <li>2. <b>Hybridturm 3443492-1-d Rev. 3 vom 16.11.2023</b></li> <li>3. <b>Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 4 vom 16.11.2023</b></li> <li>4. <b>Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 2 vom 12.10.2023</b></li> <li>5. <b>Gutachterliche Stellungnahmen Variante R0 8119 616 205 D Rev. 1 vom 07.02.2023</b></li> <li>6. <b>Gutachterliche Stellungnahmen Variante R1 8121951519-100-001-03 vom 24.01.2024</b></li> <li>6.1. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8120863590-001-004-01 vom 11.01.2024</li> <li>6.2. Lastannahmen für Turm und Fundament 8120863590-1 D V Rev. 1 vom 29.11.2023</li> <li>6.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 3 vom 09.11.2023</li> <li>6.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8120863590-005-002-00 vom 04.10.2023</li> <li>6.5. Rotorblatt 8118796497-003-001-07 vom 17.01.2024</li> <li>6.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-004-001-04 vom 27.11.2023</li> <li>6.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-012-001-04 vom 27.11.2023</li> <li>6.8. Turmkopfflansch 8121329336-11 D Rev. 1 vom 15.11.2023</li> </ol>
17.07.2024 Rev. 6	<p><b>Dokument erstellt.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Prüfbescheid zur Typenprüfung 3443492-3-d Rev. 7 vom 04.07.2024</b></li> <li>2. <b>Hybridturm 3443492-1-d Rev. 4 vom 26.06.2024</b></li> <li>2.1. <b>Übersichtsplan Gesamtturm D02405551-7</b></li> <li>2.2. <b>Übersichtsplan Stahlturm D02405556-3</b></li> <li>3. <b>Flachgründung mit Auftrieb Ø 24,00m 3443492-20 Rev. 5 vom 26.06.2024</b></li> <li>3.1. Fundamentdatenblatt D02397376-4</li> <li>3.2. Schalplan Variante R0 D02405554-5</li> <li>3.3. Bewehrungsplan Variante R0 D02405555-4</li> <li>3.4. Schalplan Variante R1 D02405554-6</li> <li>3.5. Bewehrungsplan Variante R1 D02405555-10</li> <li>4. <b>Tiefgründung mit Auftrieb Ø 23,00m 3443492-5-d Rev. 4 vom 26.06.2024</b></li> <li>4.0. Fundamentdatenblatt D-02567170-2</li> <li>4.1. Schalplan Variante R0 D-02456047-4</li> <li>4.2. Bewehrungsplan 1 Variante R0 D-02456040-3</li> <li>4.3. Bewehrungsplan 2 Variante R0 D-02456043-3</li> <li>4.4. Bewehrungsplan 3 Variante R0 D-02456046-3</li> <li>4.5. Schalplan Variante R1 D-02456047-5</li> <li>4.6. Bewehrungsplan 1 Variante R1 D-02456040-4</li> <li>4.7. Bewehrungsplan 2 Variante R1 D-02456043-4</li> <li>4.8. Bewehrungsplan 3 Variante R1 D-02456046-4</li> <li>5. <b>Gutachterliche Stellungnahmen Variante R0 8119 616 205 D Rev.1 vom 07.02.2023</b></li> <li>5.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8119201822-1 D I Rev. 2 vom 19.12.2022</li> <li>5.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8119201822-1 D IV Rev. 2 vom 19.12.2022</li> <li>5.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119201822-2 D Rev. 1 vom 11.10.2022</li> <li>5.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8114242475-5 D Rev. 9 vom 18.01.2023</li> <li>5.5. Rotorblatt 8118796497-3 D Rev. 6 vom 06.01.2023</li> <li>5.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119201822-4 D Rev. 3 vom 02.02.2023</li> <li>5.7. Verkleidung und Strukturen 8119201822-12 D Rev. 3 vom 02.02.2023</li> <li>5.8. Turmkopfflansch 8119616205-11 D Rev. 1 vom 29.11.2021</li> <li>6. <b>Gutachterliche Stellungnahmen Variante R1 8121951519-100-001-03 Rev.3 vom 24.01.2024</b></li> </ol>



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## **Prüfbescheid für eine Typenprüfung**

Datum: 04.07.2024

**Bescheid Nr.:** 3443492-3-d Rev. 7

**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, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Gültig bis:** 12.10.2026

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3443492-3-d\_Rev.  
7\_ENERCON\_E-160 EP5  
E3-HT-166-ES-C-  
01\_TPB.docx

Seite 1 von 8

Die auszugsweise Wieder-  
gabe des Dokumentes und  
die Verwendung zu Werbe-  
zwecken bedürfen der schrift-  
lichen Genehmigung der  
TÜV SÜD Industrie Service  
GmbH.

Die Prüfergebnisse  
beziehen sich ausschließ-  
lich auf die untersuchten  
Prüfgegenstände.

**Sitz: München**  
Amtsgericht München HRB 96 869  
USt-IdNr. DE129484218  
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV  
unter [tuvsud.com/impressum](https://tuvsud.com/impressum)

**Aufsichtsrat:**  
Reiner Block (Vors.)  
**Geschäftsführer:**  
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)  
Thomas Kainz  
Simon Kellerer

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

[tuvsud.com/de-is](https://tuvsud.com/de-is)  
Telefon: 089 5791-3146

**TÜV®**



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
5	20.02.2024	Dokument [7] aktualisiert und Auflage 1 entfernt.
6	26.02.2024	Dokument [7] aktualisiert.
7	04.07.2024	Dokumente [1] bis [3] aktualisiert. Erweiterung der Gültigkeit für die Erdbebenzone 3. Redaktionelle Änderungen.

**Inhaltsverzeichnis**

1	Allgemeine Bestimmungen.....	3
2	Anlagenbeschreibung .....	3
3	Prüfgrundlage .....	4
4	Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung.....	4
5	Gutachtliche Stellungnahmen.....	5
5.1	Variante R0 .....	5
5.2	Variante R1 .....	6
6	Zusammenfassung.....	6



## 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 der gelisteten Türme und Gründungen.

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

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

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

## 2 Anlagenbeschreibung

Diese Typenprüfung gilt für die Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3 mit 166,7 m Nabenhöhe mit den folgenden Charakteristika:

Variante	R0	R1
Nennleistung	5,56 MW	
Windzone	S	
Geländekategorie	S	
Erdbebenzone nach DIN 4149	3	
Rotorblatttyp	LM 78.3 P Gen. B und Gen. C	
Rotordrehzahlbereich (Produktionsbetrieb)	4,4 - 10,98 U/min	4,4 – 11,04 U/min
Turbulenzkategorie	A (für 20 Jahre) B (für 25 Jahre)	
Entwurfslebensdauer*	20 Jahre bzw. 25 Jahre	

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

**Tabelle 1: Anlageneigenschaften**



In Tabelle 2 sind die möglichen Turm- und Gründungsvarianten mit den entsprechenden Prüfberichten und den zugehörigen Gutachten gelistet:

Variante	R0	R1
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]	
Fundamente	Flachgründung [2]	
	Tiefgründung [3]	-

**Tabelle 2: Zusammengehörige Prüfberichte und Gutachten**

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:

Ref.	Nummer	Titel
/1/	DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015
/2/	DIN EN IEC 61400-1:2019	Windenergieanlagen - Auslegungsanforderungen
/3/	EN IEC 61400-1:2019	Wind Turbines – Design requirements
/4/	Stellungnahme DIBt / IEC 61400-1 Ed. 4	Vom DKE, vom 31.08.2020

Nach den Anerkennungsnotizen im Vorwort von /2/ entspricht die Norm /2/ inhaltlich /3/. Entsprechend kann in den in Abschnitt 5 gelisteten Gutachterlichen 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.

### **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.



Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[1]	Prüfbericht Hybridturm Bögl E21	TÜV SÜD	3443492-1-d Rev. 4	2024-06-26
[2]	Prüfbericht Flachgründung Ø24,00 m	TÜV SÜD	3443492-20-d Rev. 5	2024-06-26
[3]	Prüfbericht Tiefgründung Ø23,00 m	TÜV SÜD	3443492-5-d Rev. 4	2024-06-26

## 5 Gutachtliche Stellungnahmen

Die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen gemäß /1/ Abs. 3.I sowie J, K und L 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
- Bedienungsanleitung
- Inbetriebnahmeprotokoll
- Wartungspflichtenbuch

### 5.1 Variante R0

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[4]	Gutachtliche Stellungnahme – Lastannahmen für Turm und Fundament	TÜV Nord	8119201822-1 D I Rev. 2	2022-12-19

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

[5]	Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen	TÜV Nord	8119 616 205 D Rev. 1	2023-02-07
-----	---	----------	-----------------------	------------

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I und J, K und L 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.



## 5.2 Variante R1

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[6]	Gutachtliche Stellungnahme – Lastannahmen für Turm und Fundament	TÜV Nord	8120863590-1 D V Rev. 0	2023-11-09

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

[7]	Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen	TÜV Nord	GS-8121951519-100- 001-03 Rev. 3	2024-01-24
-----	---	----------	-------------------------------------	------------

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I und J, K und L 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.

## 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 und diesem Prüfbescheid genannten Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen gutachtlichen Stellungnahmen werden beachtet bzw. vollzogen. Eine Übersicht der Auflagen kann Anlage 1 dieses Typenprüfbescheids entnommen werden.

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



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

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

Der Bearbeiter

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

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



### **Anlage 1: Auflagen aus Prüfberichten und Gutachtlichen Stellungnahmen**

<b>Prüfbericht / Gutachtliche Stellungnahme</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Auflagen Nr.</b>
[1]	6	1 bis 24
[2]	6	1 bis 10
[3]	6	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 Auflagen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.	
[6]	Kapitel 5.4, Schnittstellen	
[7]	Alle in den in [7] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Auflagen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.	

**Tabelle 3: Mitgeltende Auflagen**



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## **Prüfbericht für eine Typenprüfung**

Datum: 26.06.2024

**Bericht Nr.:** 3443492-1-d Rev. 4

**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, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Gültig bis:** 12.10.2026

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3443492-1-d Rev.  
4\_ENERCON\_E-160 EP5  
E3-HT-166-ES-C-01

Seite 1 von 15

Die auszugsweise Wieder-  
gabe des Dokumentes und  
die Verwendung zu Werbe-  
zwecken bedürfen der  
schriftlichen Genehmigung  
der  
TÜV SÜD Industrie Service  
GmbH.

Die Prüfergebnisse  
beziehen sich ausschließ-  
lich auf die untersuchten  
Prüfgegenstände.

**Sitz: München**  
Amtsgericht München HRB 96 869  
USt-IdNr. DE129484218  
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV  
unter [tuvsud.com/impressum](https://tuvsud.com/impressum)

**Aufsichtsrat:**  
Reiner Block (Vors.)  
**Geschäftsführer:**  
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)  
Thomas Kainz  
Simon Kellerer

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

[tuvsud.com/de-is](https://tuvsud.com/de-is)  
Telefon: 089 5791-3146

**TÜV®**



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.
4	26.06.2024	Dokumente [10], [11] und Zeichnung [A2] hinzugefügt. Dokumente [26], [27], [29] und Zeichnungen [A1] und [A5] aktualisiert. Erweiterung der Gültigkeit für die Erdbebenzone 3. Turmvariante mit durchgehend C100/115 ergänzt. 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 .....6

3.     Beschreibung .....7

3.1.   Maße:.....7

3.2.   Baustoffe:.....7

3.3.   Lastannahmen: .....8

4.     Prüfumfang .....9

5.     Prüfbemerkungen.....9

6.     Prüfergebnis.....12

      Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne .....15



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben 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
- [10] "Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm aus FTW Bettels",  
Projekt Nr. D00673650, Rev. 0, Datum 2024-05-17  
ENERCON Dokument Nr. D02784397-0
- [11] "Earthquake Matrix Germany E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01", erstellt von ENERCON GmbH,  
Dokument Nr. D02967645, Rev. 0.0, Datum 2024-02-22

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

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



### **Lasten:**

- [12] "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
- [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 DI, Rev. 1, Datum 2021-10-05
- [14] "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
- [15] "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
- [16] "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
- [17] "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:**

- [18] "Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm", Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [19] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. h, Datum 2021-02-02
- [20] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 1, Datum 2020-07-02
- [21] 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
- [22] 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



- [23] 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
- [24] 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
- [25] 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
- [26] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung „Hochfeste Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-3.51-2036, vom 26.02.2024, Geltungsdauer bis 15.02.2029
- [27] 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, Zulassung-Nr. Z-1.3-284, vom 10.06.2024, Geltungsdauer bis 01.06.2029
- [28] „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
- [29] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen - Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8118409048-006-001-03, Rev. 3, vom 2023-08-28
- [30] „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
- [31] 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:**

- [32] Zeichnung „Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“, erstellt von ENERCON GmbH, Zeichnung Nr. D02133917/0.1-de/en, Revision -, Datum 2021-02-05
- [33] „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
- [34] „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 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /11/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /12/ DIN EN 1090-2:2011 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011“
- /13/ DIN EN 14399-4:2015 „Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -mutter; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015“



- /14/ DAST – Richtlinie 021:2013 “Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren  
M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“
- /15/ 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“
- /16/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /17/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600: „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

### **3. Beschreibung**

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

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

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

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

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

#### **3.1. Maße:**

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

Weitere Angaben können den Zeichnungen [7] entnommen werden.

#### **3.2. Baustoffe:**

Betonfertigteile	C100/115 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [26]
	C90/105 mit Expositionsklassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [26]



	C80/95 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [26]
	Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [26] eingesetzt
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [27]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt gemäß [21] und [22] in Verbindung mit [24] bzw. [23] in Verbindung mit [25]
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014
Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /13/ M42-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/
Gewindebolzen (Adapter)	M56-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /15/
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 [12] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [13] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Grundlage der Berechnung war Rev. 0 von [12]. In [13] 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 [12] gültig.

In Dokument [8] wurde über Lastvergleich gezeigt, dass die Lasten aus Dokument [12] die Lasten für die Variante R0 aus Dokument [14] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [8] durch weitere Berechnungen bewertet. Dokument [14] wurde mit der gutachtlichen Stellungnahme [15] bestätigt.

In Dokument [9] wurde über Lastvergleich gezeigt, dass die Lasten aus Dokument [14] die Lasten für die Variante R1 aus Dokument [16] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [9] durch weitere Berechnungen bewertet. Dokument [16] wurde mit der gutachtlichen Stellungnahme [17] bestätigt.

Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt gemäß [13], [15] und [17] 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 sind gemäß Dokument [11] auf Basis der DIN EN 1998-1 /10/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /11/ in Deutschland abgedeckt.

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 Hybridthurms 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 [32] 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 [28] geführt und mit [29] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Nachweise in [28] 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 [13] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,168 Hz bis 0,197 Hz). Auch der in Lastgutachten [15] und [17] angegebene



Gültigkeitsbereich (0,165 Hz bis 0,192 Hz) ist eingehalten. Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$  betragen.

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

### Imperfektionen:

Die Lasten aus [12], [14] und [16] 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  $k_{\varphi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$  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 [18] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [18] 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 [33] und [34] angesetzt. Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfallklassen sind auf der Turmzeichnung [7] ([A10]) 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 Betonfertigteilstücke 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 [26] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{Rsk}$  für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [27] 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 [14] sowie die Anlagenvariante R1 mit den Lasten gemäß [16] 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 [A8]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A9]

Das angegebene Vorspannsystem Suspa Draht EX kann entweder nach ETA [24] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [22] oder alternativ nach ETA [25] in Verbindung mit der dazugehörigen Anwendungszulassung [23] angewandt werden. Beide Systeme sind technisch gleichwertig. Die Anwendungszulassungen für das Spannsystem gelten jeweils in Verbindung mit der allgemeinen Bauartgenehmigung [21].

Die Betonteilstücke des Hybridturms können in den Druckfestigkeitsklassen C80/95 und C100/115 gemäß [A1] oder alternativ durchgehend in der Druckfestigkeitsklasse C100/115 gemäß [A2] hergestellt werden.



### **Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichtes:**

Mit der neuen Zeichnung [A2] wurde eine Turmvariante aufgenommen, bei der alle Betonfertigteile mit der Druckfestigkeitsklasse C100/115 hergestellt werden. In Dokument [10] werden die erforderlichen zusätzlichen Nachweise für diese Turmvariante geführt und Auflage 22 wurde entsprechend der neuen Berechnungsansätze angepasst.

In der neuen Revision der Zeichnung [A1] wurde die Druckfestigkeitsklasse des Starterrings auf C100/115 erhöht. Im Bewehrungsplan des Übergangsstücks [A5] wurde die konstruktive Zusatzbewehrung im Bereich der äußeren Betondeckung bis auf die Höhe der Ankerringplatte ergänzt. Die Änderungen haben keinen Einfluss auf die Gültigkeit der geprüften Dokumente [1] bis [11].

Mit Dokument [11] wurde aufgezeigt, dass Lasten aus Erdbeben für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland mit den Auslegungslasten abgedeckt sind.

In Dokument [29] wurde eine neue Revision der Zeichnung der luftseitigen Ankerplatte für die Spanngliedverankerung aufgenommen und weitere redaktionelle Anpassungen vorgenommen.

Die Gültigkeit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [26] und [27] wurde verlängert.

### **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 [12], [14] und [16] geeignet.

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

### **Auflagen**

#### **Allgemein**

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [12], [14] und [16] 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 [12], [14] und [16] zu begrenzen.
3. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
4. Es ist für jede Anlage sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten wird.
5. Bauzustände und Stillstandszeiten der Anlage sind gemäß den Angaben in Abschnitt 5 zeitlich zu beschränken. Falls die zulässigen Zeiten überschritten werden oder die Gondel zu einem späteren Zeitpunkt vom Turm genommen wird, so sind geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen.



## Stahlsektionen

6. Der Korrosionsschutz der Turmaußenseite (Turminnenseite) ist für eine Korrosivitätskategorie C4 (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Industrienähe mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre oder Meeresnähe mit hoher Salzbelastung ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie C5 erforderlich. Für die Schutzdauer ist die Klasse „hoch“ gemäß DIN EN ISO 12944-5 anzusetzen, dies entspricht einer angestrebten Zeitspanne von mindestens 15 Jahren bis zur ersten planmäßigen Instandsetzungsmaßnahme aus Korrosionsschutzgründen.
7. Sämtliche in Dickenrichtung belasteten Bauteile (z.B. Flansche und Zargen) müssen hinsichtlich der Dopplungsfreiheit nach EN 10160, Qualitätsklasse S1 und E1, oder einem äquivalenten Standard ultraschallgeprüft sein.
8. Der Stahlrohrturm darf nur von Herstellern mit einer Qualifizierung gemäß DIN EN 1090-1 für mindestens Ausführungsklasse EXC3 gefertigt werden.
9. Die Fertigung des Stahlrohrturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.
10. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeinrichtungen) müssen mindestens den auf der Zeichnung [7] [A10] 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 [21] bis [25] sowie für die Hochfestbetone [26] und geschweißten Bewehrungselemente [27] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
17. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version aller zitierten Zulassungen [21] bis [27] 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 /12/, 12.5.2 durchzuführen, um eine stichprobenartige Überprüfung des erzielten Vorspannniveaus sicherzustellen.
21. Zwischen Betonage des Adapters und Inbetriebnahme der Windenergieanlage müssen mindestens 40 Tage liegen.
22. Der für die Ermittlung der Eigenfrequenz rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons zwischen  $46.000 \text{ N/mm}^2$  und  $49.900 \text{ N/mm}^2$  ist im Mittel über alle Turmsegmente eines Turms 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.

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

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

Der Bearbeiter

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

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



## **Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne**

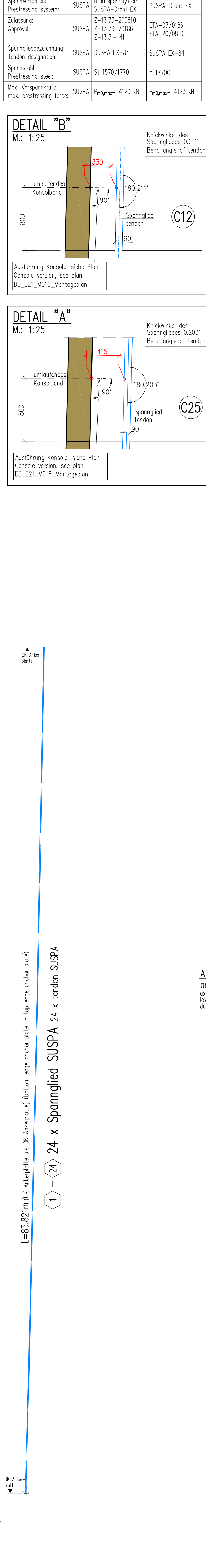
### **Betonteil (erstellt von Max Bögl)**

Nr.	Planbezeichnung	ENERCON Dokument Nr.	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E21-001-XX-X-Uebersicht	D02405551-7	g	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 166,6 m, Spannglieds „SUSPA“	2024-05-17
[A2]	DE-E21-001-0747-XX-X-Uebersicht	D02784396-1	a	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 166,6 m, Spannglieds „SUSPA“	2024-05-07
[A3]	DE-E21-095-XX-X-Schalplan	D02405558-1	a	Schalplan Rohteile C-Ringe	2023-01-12
[A4]	DE-E21-096-XX-X-Bewehrung	D02405559-3	c	Bewehrungsplan Rohteile C-Ringe (3-teilig)	2023-01-12
[A5]	DE-E21-AE1-K1-X-Bewehrung	D02405560-4	d	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2024-04-12
[A6]	DE-E21-AE1-K1-X-Schalplan	D02405561-3	c	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-05-25
[A7]	DE-E21-M008 Montageplan	D02405562-1	a	Fugendetailplan	2023-01-13
[A8]	XX-XXX-M56-HV-1-Schalplan	-	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbeschichtung T0150831	2021-01-25
[A9]	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
[A10]	DE-E21-022-XX-X-Uebersicht	D02405556-3	c	Übersichtsplan Stahlturm 166m NH	2023-01-12

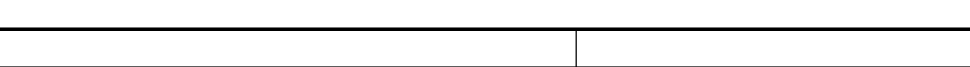
M.: 1:200  
+166600



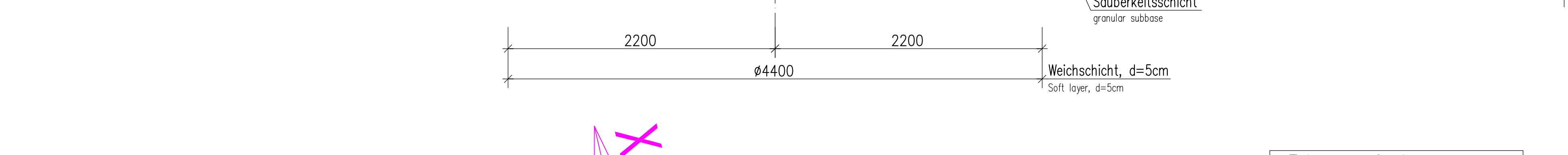
## M.: 1:10



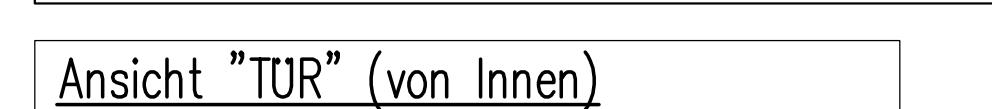
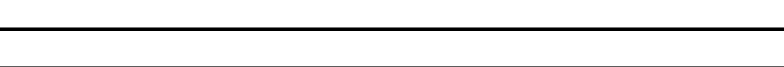
## M.: 1:10



## M.: 1:25

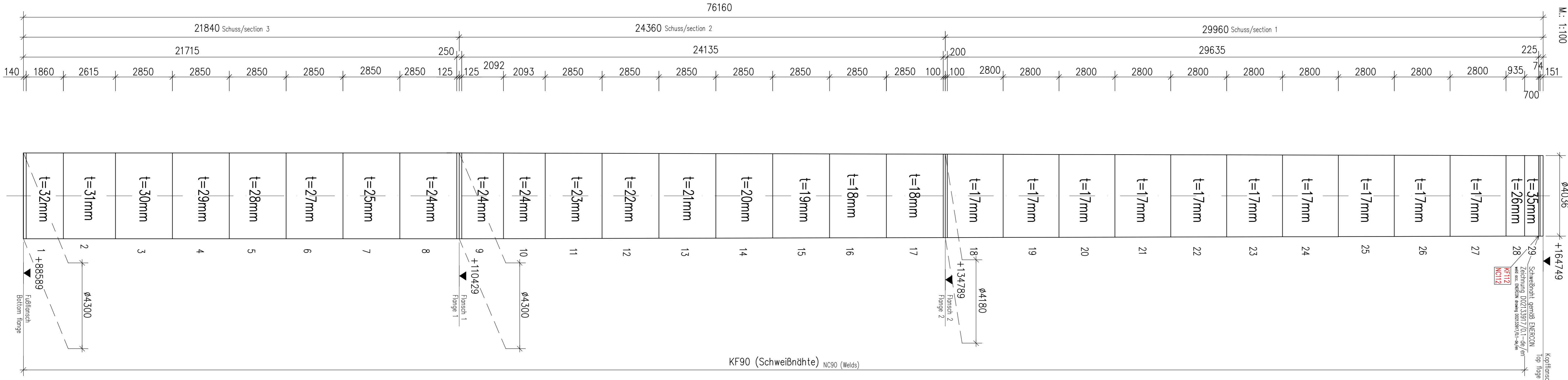


(auf

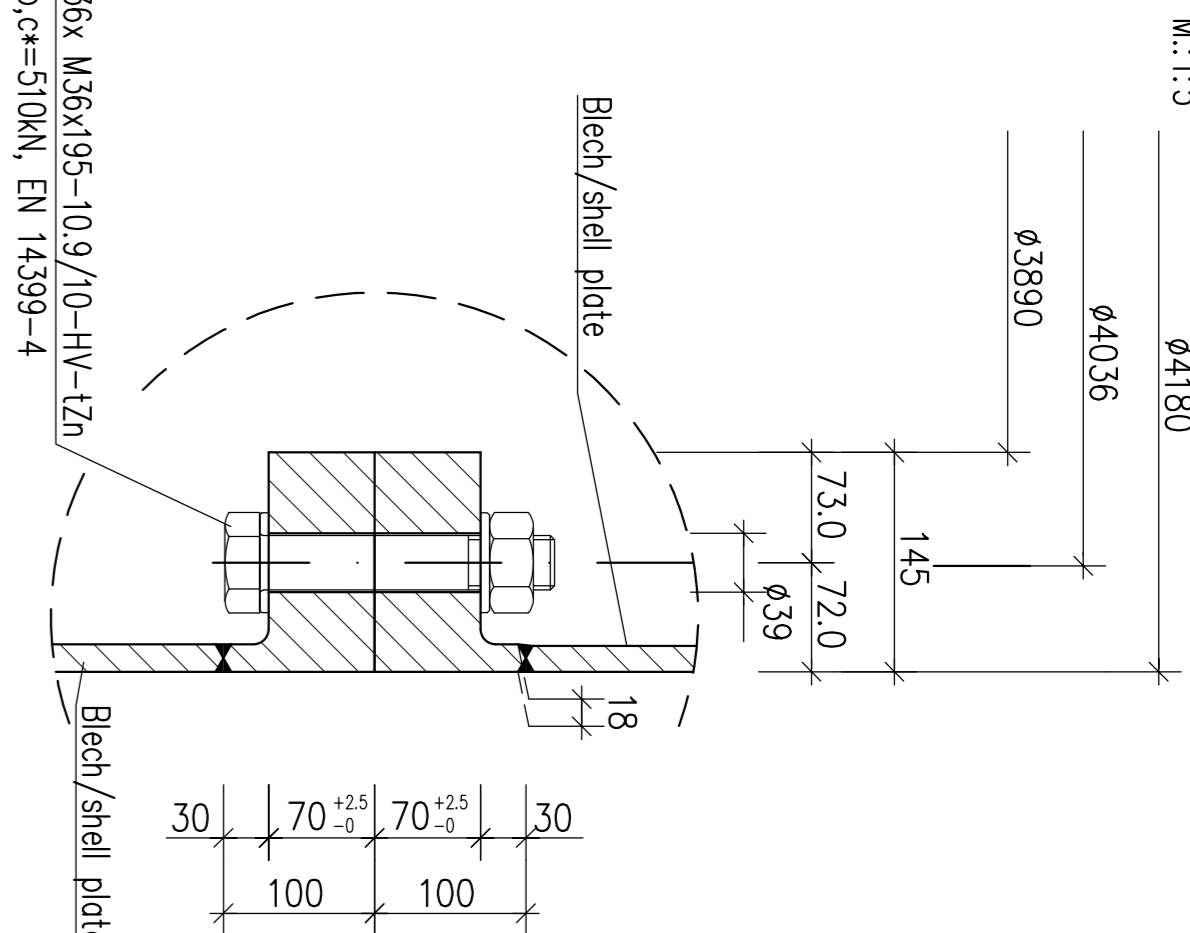
[illegible]

Anforderungen des Auftrags laut gemäß ENERCON  
Dimension of 100 kg/m according to ENERCON  
Drawing 100213391/01-16/er/en

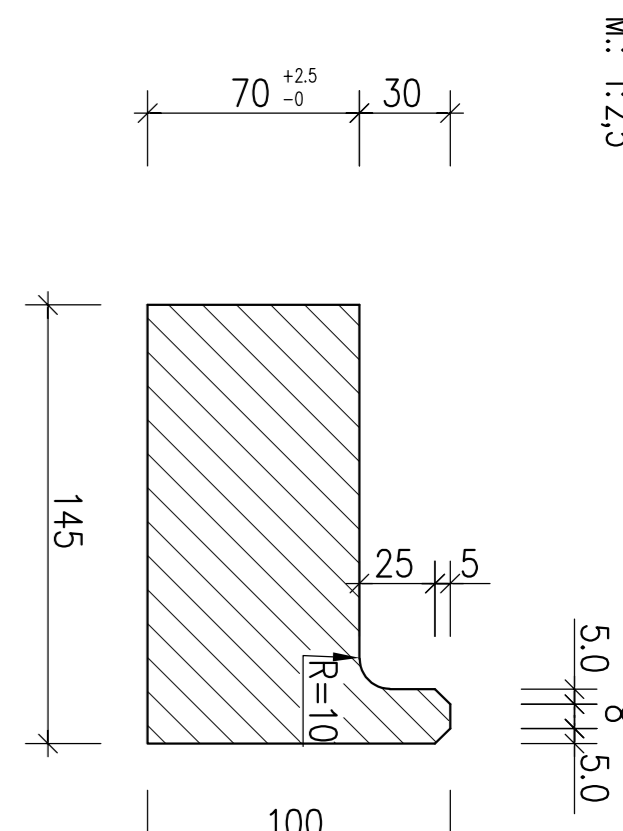
Längsschnitt



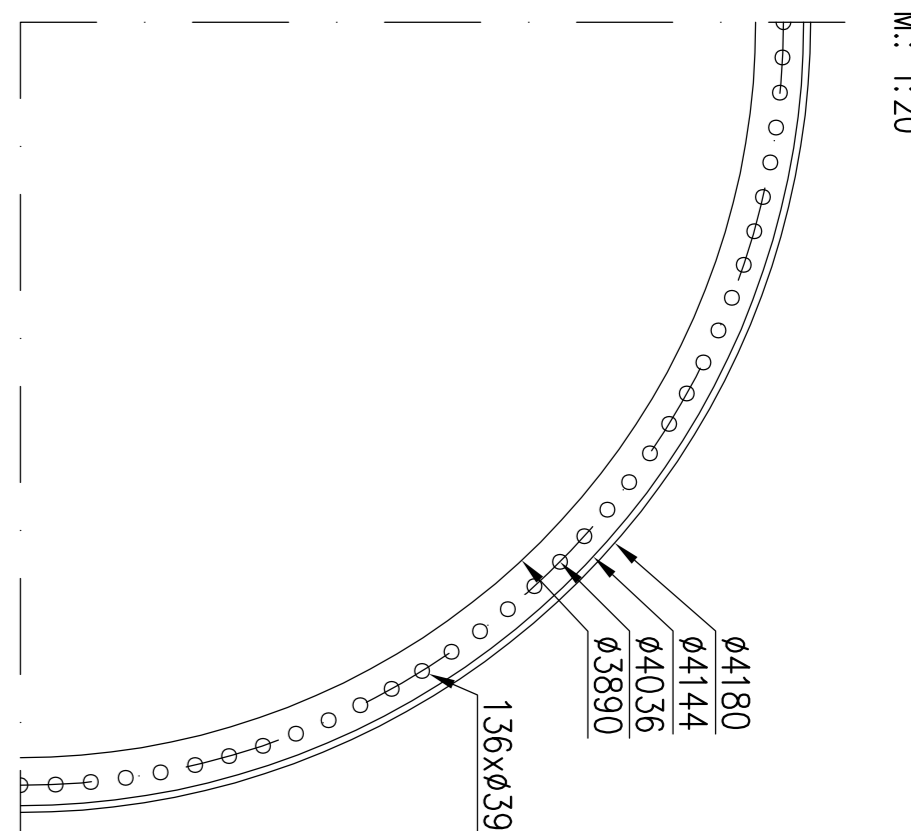
Flansch 2/Flange 2



Detail Flansch 2



Draufsicht Flansch 2/Top view 2



Kerflokklasse / zuliessige Bützen

Seg	Stich	t	erf. KSK	IFC - Bützen	Kommt die Bütze verwendet werden?
Hebel (m)	Ø	Stich	30/16	30/16	30/16
163,824	22	35	43	89	89
162,689	26	40	48	89	91
161,554	30	45	53	89	91
160,419	34	50	58	89	91
159,284	38	55	63	89	91
158,149	42	60	68	89	91
157,014	46	65	73	89	91
155,879	50	70	78	89	91
154,744	54	75	83	89	91
153,609	58	80	88	89	91
152,474	62	85	93	89	91
151,339	66	90	98	89	91
150,204	70	95	103	89	91
149,069	74	100	108	89	91
147,934	78	105	113	89	91
146,799	82	110	118	89	91
145,664	86	115	123	89	91
144,529	90	120	128	89	91
143,394	94	125	133	89	91
142,259	98	130	138	89	91
141,124	102	135	143	89	91
140,000	106	140	148	89	91
138,865	110	145	153	89	91
137,730	114	150	158	89	91
136,595	118	155	163	89	91
135,460	122	160	168	89	91
134,325	126	165	173	89	91
133,190	130	170	178	89	91
132,055	134	175	183	89	91
130,920	138	180	188	89	91
129,785	142	185	193	89	91
128,650	146	190	198	89	91
127,515	150	195	203	89	91
126,380	154	200	208	89	91
125,245	158	205	213	89	91
124,110	162	210	218	89	91
122,975	166	215	223	89	91
121,840	170	220	228	89	91
120,705	174	225	233	89	91
119,570	178	230	238	89	91
118,435	182	235	243	89	91
117,300	186	240	248	89	91
116,165	190	245	253	89	91
115,030	194	250	258	89	91
113,895	198	255	263	89	91
112,760	202	260	268	89	91
111,625	206	265	273	89	91
110,490	210	270	278	89	91
109,355	214	275	283	89	91
108,220	218	280	288	89	91
107,085	222	285	293	89	91
105,950	226	290	298	89	91
104,815	230	295	303	89	91
103,680	234	300	308	89	91
102,545	238	305	313	89	91
101,410	242	310	318	89	91
100,275	246	315	323	89	91
99,140	250	320	328	89	91
98,005	254	325	333	89	91
96,870	258	330	338	89	91
95,735	262	335	343	89	91
94,600	266	340	348	89	91
93,465	270	345	353	89	91
92,330	274	350	358	89	91
91,195	278	355	363	89	91
90,060	282	360	368	89	91
88,925	286	365	373	89	91
87,790	290	370	378	89	91
86,655	294	375	383	89	91
85,520	298	380	388	89	91
84,385	302	385	393	89	91
83,250	306	390	398	89	91
82,115	310	395	403	89	91
80,980	314	400	408	89	91
79,845	318	405	413	89	91
78,710	322	410	418	89	91
77,575	326	415	423	89	91
76,440	330	420	428	89	91
75,305	334	425	433	89	91
74,170	338	430	438	89	91
73,035	342	435	443	89	91
71,900	346	440	448	89	91
70,765	350	445	453	89	91
69,630	354	450	458	89	91
68,495	358	455	463	89	91
67,360	362	460	468	89	91
66,225	366	465	473	89	91
65,090	370	470	478	89	91
63,955	374	475	483	89	91
62,820	378	480	488	89	91
61,685	382	485	493	89	91
60,550	386	490	498	89	91
59,415	390	495	503	89	91
58,280	394	500	508	89	91
57,145	398	505	513	89	91
56,010	402	510	518	89	91
54,875	406	515	523	89	91
53,740	410	520	528	89	91
52,605	414	525	533	89	91
51,470	418	530	538	89	91
50,335	422	535	543	89	91
49,200	426	540	548	89	91
48,065	430	545	553	89	91
46,930	434	550	558	89	91
45,795	438	555	563	89	91
44,660	442	560	568	89	91
43,525	446	565	573	89	91
42,390	450	570	578	89	91
41,255	454	575	583	89	91
40,120	458	580	588	89	91
38,985	462	585	593	89	91
37,850	466	590	598	89	91
36,715	470	595	603	89	91
35,580	474	600	608	89	91
34,445	478	605	613	89	91
33,310	482	610	618	89	91
32,175	486	615	623	89	91
31,040	490	620	628	89	91
29,905	494	625	633	89	91
28,770	498	630	638	89	91
27,635	502	635	643	89	91
26,500	506	640	648	89	91
25,365	510	645	653	89	91
24,230	514	650	658	89	91
23,095	518	655	663	89	91
21,960	522	660	668	89	91
20,825	526	665	673	89	91
19,690	530	670	678	89	91
18,555	534	675	683	89	91
17,420	538	680	688	89	91
16,285	542	685	693	89	91
15,150	546	690	698	89	91
14,015	550	695	703	89	91
12,880	554	700	708	89	91
11,745	558	705	713	89	91
10,610	562	710	718	89	91
9,475	566	715	723	89	91
8,340	570	720	728	89	91
7,205	574	725	733	89	91
6,070	578	730	738	89	91
4,935	582	735	743	89	91
3,800	586	740	748	89	91
2,665	590	745	753	89	91
1,530	594	750	758	89	91
30,166	598	755	763	89	91
29,031	602	760	768	89	91
27,896	606	765	773	89	91
26,761	610	770	778	89	91
25,626	614	775	783	89	91
24,491	618	780	788	89	91
23,356	622	785	793	89	91
22,221	626	790	798	89	91
21,086	630	795	803	89	91
19,951	634	800	808	89	91
18,816	638	805	813	89	91
17,681	642	810	818	89	91
16,546	646	815	823	89	91
15,411	650	820	828	89	91
14,276	654	825	833	89	91
13,141	658	830	838	89	91
12,006	662	835	843	89	91
10,871	666	840	848	89	91
9,736	670	845	853	89	91
8,601	674	850	858	89	91
7,466	678	855	863	89	91
6,331	682	860	868	89	91
5,196	686	865	873	89	91
4,061	690	870	878	89	91
2,926	694	875	883	89	91
1,791	698	880	888	89	91
6,331	702	885	893	89	91
5,196	706	890	898	89	91
4,061	710	895	903	89	91
2,926	714	900	908	89	91
1,791	718	905	913	89	91
6,331	722	910	918	89	91
5,196	726	915	923	89	91
4,061	730	920	928	89	91
2,926	734	925	933	89	91
1,791	738	930	938	89	91
6,331	742	935	943	89	91
5,196	746	940	948	89	91
4,061	750	945	953	89	91
2,926	754	950	958	89	91
1,791	758	955	963	89	91
6,331	762	960	968	89	91
5,196	766	965	973	89	91
4,061	770	970	978	89	91
2,926	774	975	983	89	91
1,791	778	980	988	89	91
6,331	782	985	993	89	91
5,196	786	990	998	89	91
4,061	790	995	1003	89	91
2,926	794	1000	1008	89	91
1,791	798	1005	1013	89	91
6,331	802	1010	1018	89	91
5,196	806	1015	1023	89	91
4,061	810	1020	1028	89	91
2,926	814	1025	1033	89	91
1,791	818	1030	1038	89	91
6,331	822	1035	1043	89	91
5,196	826	1040	1048	89	91
4,061	830	1045	1053	89	91
2,926	834	1050	1058	89	91
1,791	838	1055	1063	89	91
6,331	842	1060	1068	89	91
5,196	846	1065	1073	89	91
4,061	850	1070	1078	89	91
2,926	854	1075	1083	89	91
1,791	858	1080	1088	89	91
6,331	862	1085	1093	89	91
5,196	866	1090	1098	89	91
4,061	870	1095	1103	89	91
2,926	874	1100	1108	89	91
1,791	878	1105	1113	89	91
6,331	882	1110	1118	89	91
5,196</					



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## **Prüfbericht für eine Typenprüfung**

Datum: 26.06.2024

**Bericht Nr.:** 3443492-20-d Rev. 5

**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, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Geltungsdauer:** bis 12.10.2026

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3443492-20-d  
Rev.5\_Enercon\_E-  
160\_EP5\_E3-HT-166-  
ES\_FGmA\_24m

Seite 1 von 8

Die auszugsweise Wieder-  
gabe des Dokumentes und  
die Verwendung zu Werbe-  
zwecken bedürfen der  
schriftlichen Genehmigung  
der  
TÜV SÜD Industrie Service  
GmbH.

Die Prüfergebnisse  
beziehen sich ausschließ-  
lich auf die untersuchten  
Prüfgegenstände..

**Sitz: München**  
Amtsgericht München HRB 96 869  
USt-IdNr. DE129484218  
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV  
unter [tuvsud.com/impressum](https://tuvsud.com/impressum)

**Aufsichtsrat:**  
Reiner Block (Vors.)  
**Geschäftsführer:**  
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)  
Thomas Kainz  
Simon Kellerer

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

[tuvsud.com/de-is](https://tuvsud.com/de-is)  
Telefon: 089 5791-3146

**TÜV®**



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.
5	26.06.2024	Dokumente [6] und [10] bis [13] aktualisiert. Dokument [16] hinzugefügt. Erweiterung der Gültigkeit für die Erdbebenzone 3. 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. j, Datum 2024-04-22  
ENERCON Dokument Nr. D02405555-10

### **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 -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8118409048-006-001-03, Rev. 3, vom 2023-08-28



- [11] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=166,6m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E21\_001\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. g, Datum 2024-05-17  
ENERCON Dokument Nr. D02405551-7
- [12] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. f, Datum 2023-11-07  
ENERCON Dokument Nr. D02405544-6
- [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, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 4, Datum 2024-06-26
- [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
- [16] „Earthquake Matrix Germany E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01“, erstellt von ENERCON GmbH,  
Dokument Nr. D02967645, Rev. 0.0, Datum 2024-02-22

## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

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



- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

### **3. Beschreibung**

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

#### **3.2. Lastannahmen**

Die Fundamentauserlegung [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).

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [16] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt. Die Nachweise in [16] wurden mit dem Turmprüfbericht [13] bestätigt.

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m<sup>2</sup> 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 Zeichnung [6] wurde redaktionell angepasst. Die Änderungen haben keinen Einfluss auf die Gültigkeit aller anderen Nachweise und Unterlagen.

Mit Dokument [16] wurde aufgezeigt, dass Lasten aus Erdbeben für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt sind.

### **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.
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 kN/m<sup>3</sup> 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 read 'C. Reuter'.

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer

Verfasser / Author:		 <b>MAX BÖGL</b> Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			Datum / Date: 24.07.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: E21	

## Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

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

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

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 E3
Nabenhöhe / <i>Hub height:</i>	166,6 m
Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament mit Teilauftrieb / <i>Foundation with partial          buoyancy</i>
Verfasser / <i>Author:</i>	Max Bögl Wind AG Max-Bögl-Str. 1 DE-92369 Sengenthal
Datum / <i>Date:</i>	24.07.2023
Revision / <i>Revision:</i>	d
Enercon Dokumentnummer / <i>document number:</i>	D02397376-4

Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / <i>Chapter:</i>		

Verfasser / Author:  <b>MAX BÖGL</b> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybriddurm / Hybrid tower: E21	Datum / Date: 24.07.2023

## Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Revision / <i>Revision</i>	Datum / <i>Date</i>	Beschreibung / <i>Description</i>	Bearbeiter / <i>Author</i>
-	04.06.2021	Erstausgabe / <i>First release</i>	Plou
a	04.10.2021	Lastenheft 24.06.2021 angesetzt / <i>Load report 24-06-2021 considered</i>	Plou
b	06.02.2023	Überarbeitung durch Lastrelease R1 (BS-P Lasten) / <i>Update due to load release R1 (BS-P loads)</i>	Plou
c	06.06.2023	Enercon-Dokumentennummer auf Titelblatt ergänzt	Braun
d	24.07.2023	Turmnamen auf dem Titelblatt korrigiert, „E3“ in WEA-Bezeichnung ergänzt	Braun

Datum / *Date*: 24.07.2023

Aufgestellt /  
*Prepared by*:

  
 i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft /  
*Checked by*:

  
 i.A. Christoph von Oesen

Geprüft und freigegeben /  
*Checked and approved by*:

  
 i.A. Thorsten Betz

Bauteil / <i>Component</i> : Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ <i>Page</i> : 2c
Block / <i>Chapter</i> : Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 24.07.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21		

## Inhaltsverzeichnis / *Table of contents*

<b>Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i></b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis / <i>Table of contents</i></b>	<b>3</b>
<b>1 Allgemeines / <i>General</i></b>	<b>4</b>
<b>2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i></b>	<b>5</b>
<b>3 Belastung / <i>Loading</i></b>	<b>7</b>
3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / <i>Own weight, soil cover and buoyancy</i>	8
3.2 Turmlasten / <i>Tower loads</i>	9
3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / <i>BS-P, BS-T and BS-A</i>	9
3.2.2 GZT und GZG / <i>ULS and SLS</i>	10
<b>4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i></b>	<b>11</b>

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ Page:	3c
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents		

Verfasser / Author: 			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3    NH / HH: 166,6 m    Hybridturm / Hybrid tower: E21			Datum / Date: 24.07.2023

## 1 Allgemeines / General

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

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

### Turm / Tower

#### Beschreibung / Description


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

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

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

DE\_E21\_001\_XX\_X\_Uebersicht

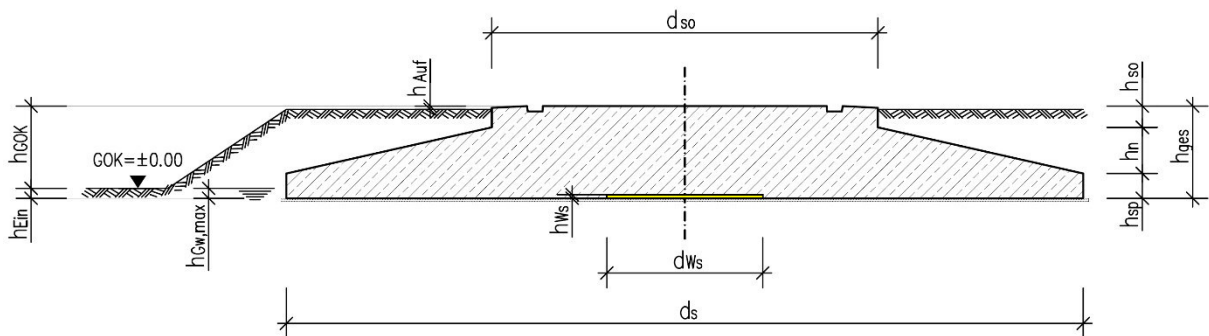
Bauteil / Component: Fundament / Foundation	Seite/ Page: 4c
Block / Chapter: 1 Allgemeines / General	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 24.07.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: E21		

## 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>	$d_s$	=	24,00 m
Sockeldurchmesser / <i>Base diameter</i>	$d_{so}$	=	10,90 m
Weichschichtdurchmesser / <i>Soft layer diameter</i>	$d_{ws}$	=	4,40 m
Fundamenthöhe / <i>Foundation height</i>	$h_{ges}$	=	2,80 m
Spornhöhe / <i>Outer height</i>	$h_{sp}$	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / <i>Nose incline height</i>	$h_n$	=	1,50 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 - Überschüttungsoberkante / <i>Separation foundation top edge - soil cover top edge</i>	$h_{Auf}$	=	0,10 m
Weichschichtsdicke / <i>Soft layer thickness</i>	$h_{ws}$	=	0,05 m

Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ <i>Page:</i> 5c
Block / <i>Chapter:</i>	2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i>	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 24.07.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21		

## Material und Massen / Material and dimensions

### Beton / Concrete

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

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

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

### Betonstahl / Reinforcement steel

Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bewehrungsgehalt / Reinforcement ratio 116,8 kg/m<sup>3</sup>

Bewehrungstonnage / Reinforcement weight 87,3 t

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ Page:	6c
Block / Chapter:	2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions		

Verfasser / Author:  Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybridenturm / Hybrid tower: E21	Datum / Date: 24.07.2023

### 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.

1. GZT-, GZG- und Ermüdungslasten  
 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.
2. GZT- und GZG-Lasten R0 GenB-9,6  
 Enercon: Excel-Datei „D02464861\_2.1\_de-en\_Calculation\_E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01; LL01; fatigue and ultimate loads; Certification.xlsx“.  
 erhalten am 14.09.2022
3. Ermüdungslasten R0 GenB-9,6  
 Enercon: Ordner „D0246861\_2.1\_de-en\_Berechnung\_E-160 EP5 E3-HAT-166-ES-C-01“  
 erhalten am 14.09.2022
4. GZT- und GZG-Lasten R1  
 Enercon: Excel-Datei „D02773903\_1.0\_de-en\_Calculation\_E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01; LL01; Certification.xlsx“  
 erhalten am 29.11.2022
5. Ermüdungslasten R1  
 Enercon: Zip-Datei „D02773903\_1.0\_de-en\_Calculation\_E-160 EP5 E3R1-HT-166-ES-C-01; LL01; Certification.zip“  
 erhalten am 29.11.2022

Bauteil / Component: Fundament / Foundation	Seite/ Page: 7c
Block / Chapter: 3 Belastung / Loading	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 24.07.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21		

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

#### Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / <i>Concrete specific weight</i>	$\gamma_c$	=	25,0 kN/m <sup>3</sup>
Betongewicht / <i>Concrete weight</i>	$G_c$	=	18 687 kN

#### Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / <i>Inner thickness backfill</i>	$t_{\text{MaxÜs,inn}}$	=	0,500 m
Höhe Erdüberschüttung außen / <i>Outer thickness backfill</i>	$t_{\text{MaxÜs,aus}}$	=	2,000 m
Bodenwichte / <i>Soil specific weight</i>	$\gamma_{\text{Üs}}$	=	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Gewicht Erdüberschüttung / <i>Soil cover weight</i>	$G_{\text{MaxÜs}}$	=	8 686 kN

#### Auftrieb / Buoyancy

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

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ Page: 8c
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>	

Verfasser / Author:			 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21		Datum / Date: 24.07.2023

## 3.2 Turmlasten / *Tower loads*

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

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

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

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

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


LF / LC	BS-P	BS-T	BS-A
<b>V<sub>k</sub></b> [kN]	36 717	36 717	36 717
<b>H<sub>k</sub></b> [kN]	1 611	822	1 475
<b>M<sub>b,k</sub></b> [kNm]	171 768	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<sub>k</sub>: Normalkraft (vertikal) / *Normal force (vertical)*
- H<sub>k</sub>: Querkraft (horizontal) / *Shear force (horizontal)*
- M<sub>b,k</sub>: Biegemoment / *Bending moment*

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ Page:	9c
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>		

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
			Datum / Date: 24.07.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: E21	

### 3.2.2 GZT und GZG / ULS and SLS

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

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

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

These are design loads at the foundation top. Foundation own wight, 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
$\gamma_E$	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*
- $\gamma_E$ : Sicherheitsfaktor / *Safety factor*

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ Page: 10c
Block / Chapter:	3 Belastung / <i>Loading</i>	

Verfasser / Author:  <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5 E3	NH / HH: 166,6 m	Hybriddturm / Hybrid tower: E21	Datum / Date: 24.07.2023

## 4 Anforderungen an den Baugrund / *Soil requirements*

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

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

### Drehfedersteifigkeit / *Rotation spring stiffness*

Mindestwert / *Minimal value*

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

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

Maximal zulässige Schiefstellung / <i>Maximal allowed out-of-vertical inclination</i>	$\Delta s_{\text{max}}$	=	3	mm/m
---	-------------------------	---	---	------

### Bodenpressung / *Soil bearing pressure*

Erforderliche widerstand / *Required resistance*

Maximal zulässige Bodenpressung im BS-P / <i>Maximal allowed soil pressure in BS-P</i>	$\sigma_{\text{max, BS-P}}$	=	219	kN/m <sup>2</sup>
--	-----------------------------	---	-----	-------------------

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

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

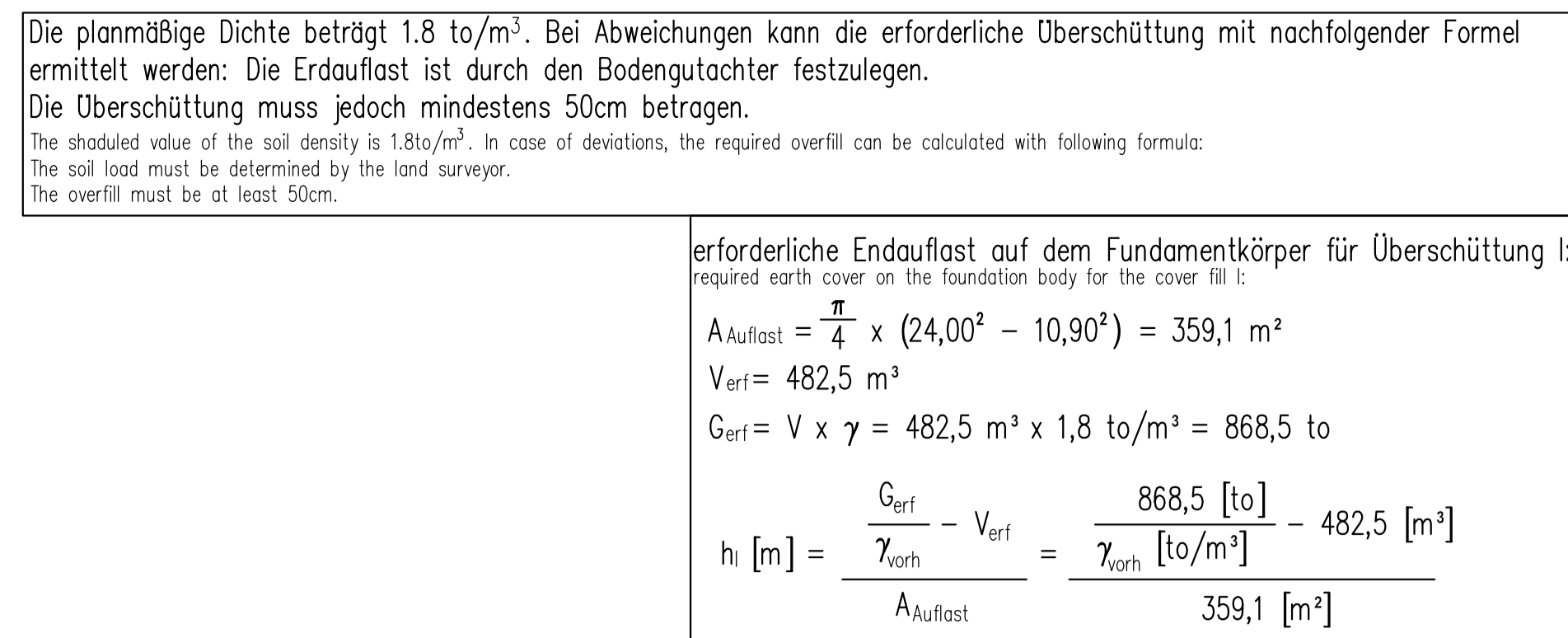
Diese Werte sind vom Bodengutachter zu bestätigen.  
 / *These values must be confirmed by the geotechnical expert.*

Bauteil / Component:	Fundament / <i>Foundation</i>	Seite/ Page:	11c
Block / Chapter:	4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>		

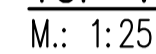
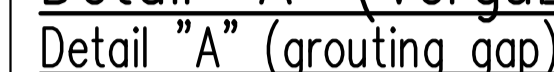
## M 1:50

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

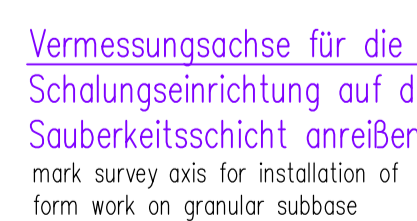
The concretes can be poured "wet-on-wet"



Volumen Beton:  
volume concrete:  $746\text{m}^3$   
Fundamentkopf =  $54\text{m}^3$   
Fundamentplatte =  $692\text{m}^3$   
Gewicht: weight:  $18650\text{kN}$



M 1:50



Mark the numbers of the tendons on the foundation!

Visible concrete edges chamfer 1.0/1.0cm

Ma-Bot-Unterschiedswortmark: In diesem Dokument befinden wir uns jegliche speziellen Unterschiedswortmarken und sonstigen Unterschiedswortmarken vor. Eine weitere Verwendung ist ausdrücklich zu untersagen, schriftliche Zustimmung darf diese Unterteilung weder verändert, noch Dritten zugänglich gemacht werden oder in einer anderen Weise veröffentlicht werden. Jegliche Zustimmung, welche aus dem Dokument hervorgeht, ist ausschließlich für den Zweck der Veröffentlichung bestimmt.



## 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

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

Vermessungsgasse 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

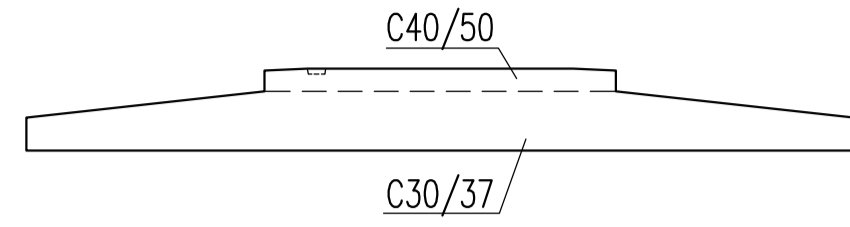
Die planmäßige Dichte beträgt 1.8 to/m<sup>3</sup>. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschlüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdauflost ist durch den Bodengutachter festzulegen.  
The standard value of the soil density is 1.8to/m<sup>3</sup>. In case of deviations, the required overfill can be calculated with following formula:  
The soil load must be determined by the land surveyor.  
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:

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

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

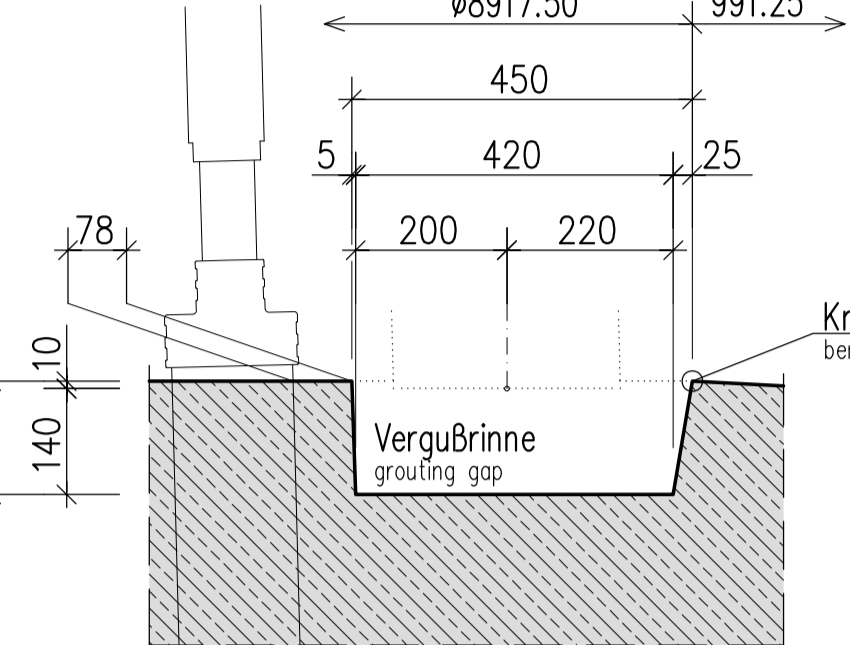
Volumen Beton:  
volume concrete: 746m<sup>3</sup>  
Fundamentkopf = 54m<sup>3</sup>  
Fundamentplatte = 692m<sup>3</sup>  
Gewicht: weight: 18650kN



## Detail "A" (VerguBrinne)

### Detail "A" (grouting gap)

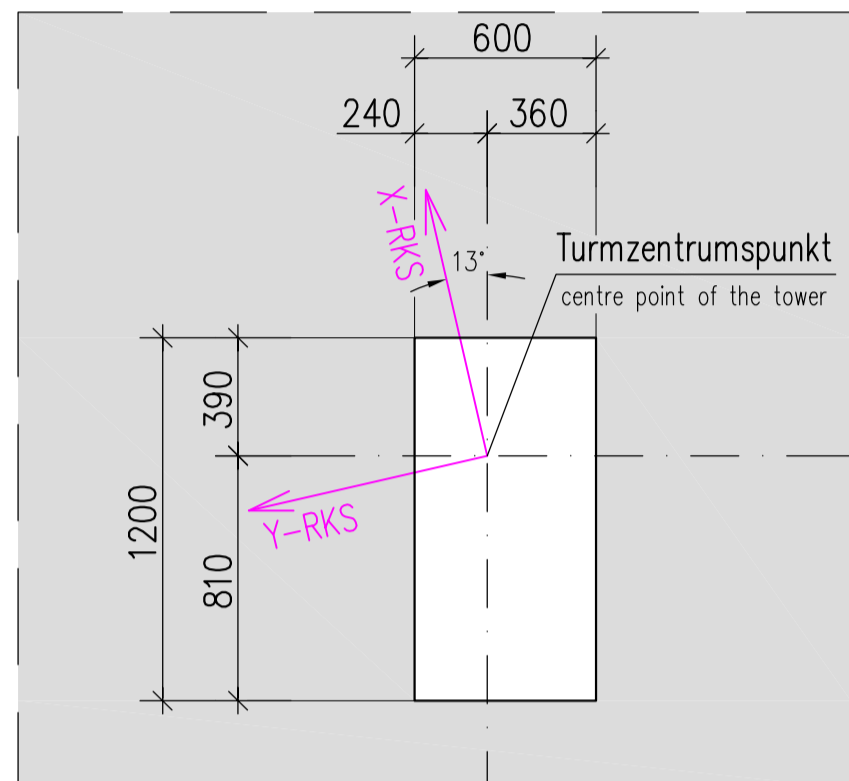
M 1:10



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

Der Grundbruchnachweis ist vom Baugrundgutachter zu erbringen. Dabei ist die mittlere Bodenpressung mit den Lasten aus folgender Tabelle zu ermitteln:  
The verification against soil rupture has to be carried out by the building geotechnical expert. For this, the mean soil pressure has to be calculated with the loads given in the following table:

Additionally the loads stemming from the earth cover and the buoyancy according to the design need to be taken into account for the respective wind turbine location.

Maximale charakteristische Lasten ( $\gamma_R=1,00$ ) in der Sahlage der Gründung (inkl. Erdaufschüttung, Auftrieb und etwaiger Einbauteile) Maximum characteristic loads ( $\gamma_R=1,00$ ) in the joint between bottom of foundation and soil (incl. 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	217140

Betonfestigkeitsklasse: 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:	$c_{\text{ex}} = 5,0 \text{ cm}$
Expositionsklassen: exposure class:	XA1, XC4, XD1, XF1 nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 206-1 wenn nicht vom Baugrundgutachter höhere Anforderungen gestellt werden. (Anmerkung: Expositionsklasse XD1 nur im Außenbereich ohne Erdaufschüttung erforderlich) if there are not higher requirements from the building ground consultant (geologist) (Note: Exposure class XD1 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 Fundamentkonstruktion according to: DIN EN 206-1 1 V.m. DIN 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670 1 V.m. DIN 1045-3

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

Grundlegende Anforderungen:  
Nennwert des Gesteinskörners der Gesteinskörnung:  
Fundamentkopf  $\leq 16 \text{ mm}$   
verbleibender Fundamentkörper  $\leq 32 \text{ mm}$   
Klasse des Chloridgehalts: 0,20  
Fruchttemperatur nach Angabe Bortechnologie  
jedoch maximal 30°C

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

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

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

Die Nachbehandlungsmaßnahmen sind mit dem Bortechnologen auf  
die Betonbeschaffenheit und die Witterungsverhältnisse abzustimmen.

Joint construction with a grouting mortar  
see associated layout complete tower

Fundamentanforderungen:  
maximaler Korngröße der Gesteinskörnung:  
Fundamentkopf  $\leq 16 \text{ mm}$   
verbleibender Fundamentkörper  $\leq 32 \text{ mm}$   
Klasse des Chloridgehalts: 0,20  
Fruchttemperatur nach Angabe Bortechnologie  
jedoch maximal 30°C

Zusätzliche Anforderungen:  
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.

- 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 Montagerahmen

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

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

[-] Lage Aussparung angepasst	Kalt	14.07.2023
[S] Aussparung 600x1200 angesetzt	Großbau	16.02.2023
[S] Anlagenezeichnung berichtigt (engl. last angepasst)	Bau	13.01.2023
[S] Kleinfuge Injektion, Leinwand R-P angepasst, Planentwurf überarbeitet	Bau	20.12.2022
[S] Vermessung der SRS hinzugefügt	Großbau	02.12.2021
[S] Draufsicht berichtigt / Spanngliedverankerung berichtigt	Sch. Mes.	10.08.2020

Änderung: Bezeichnung



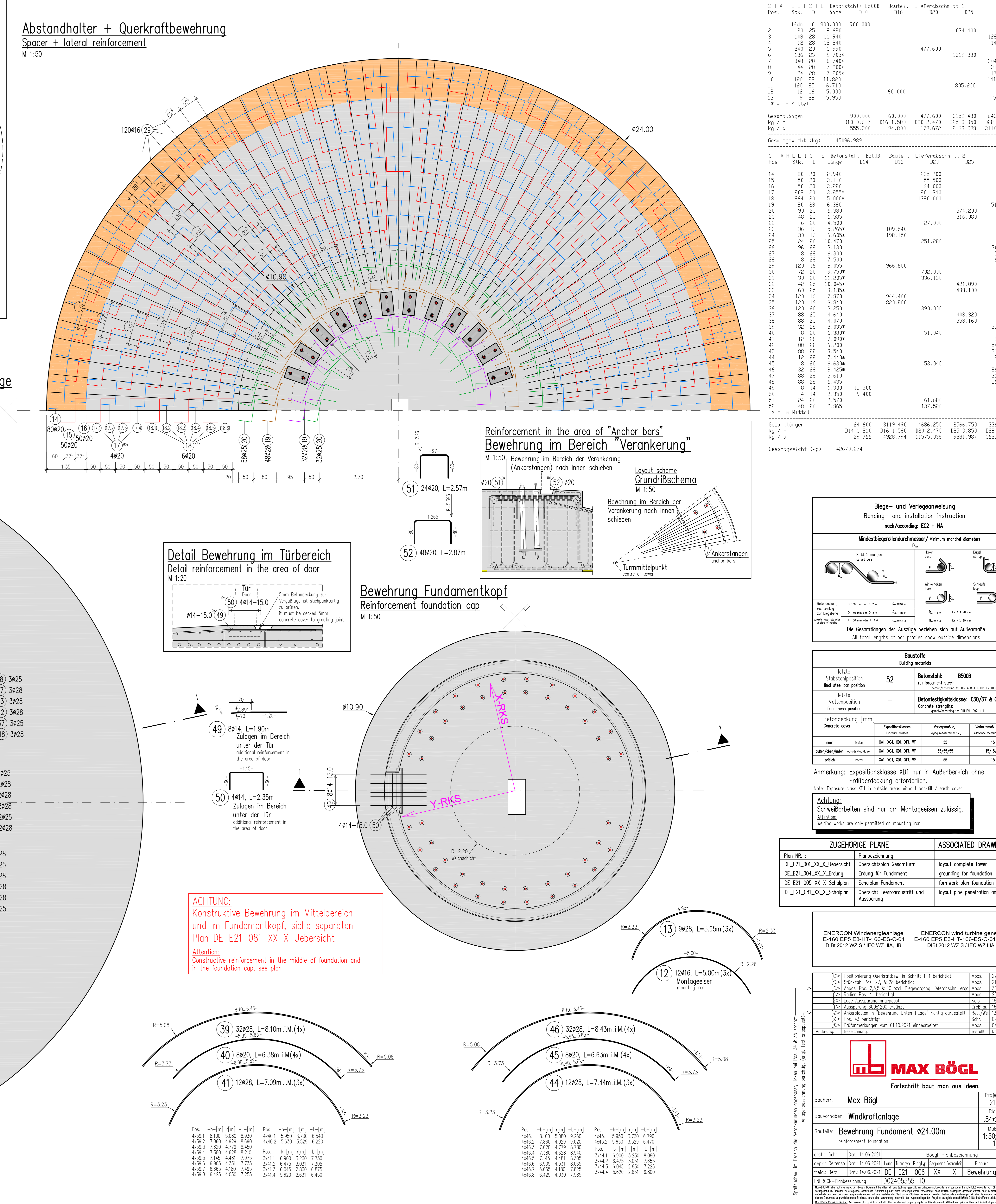
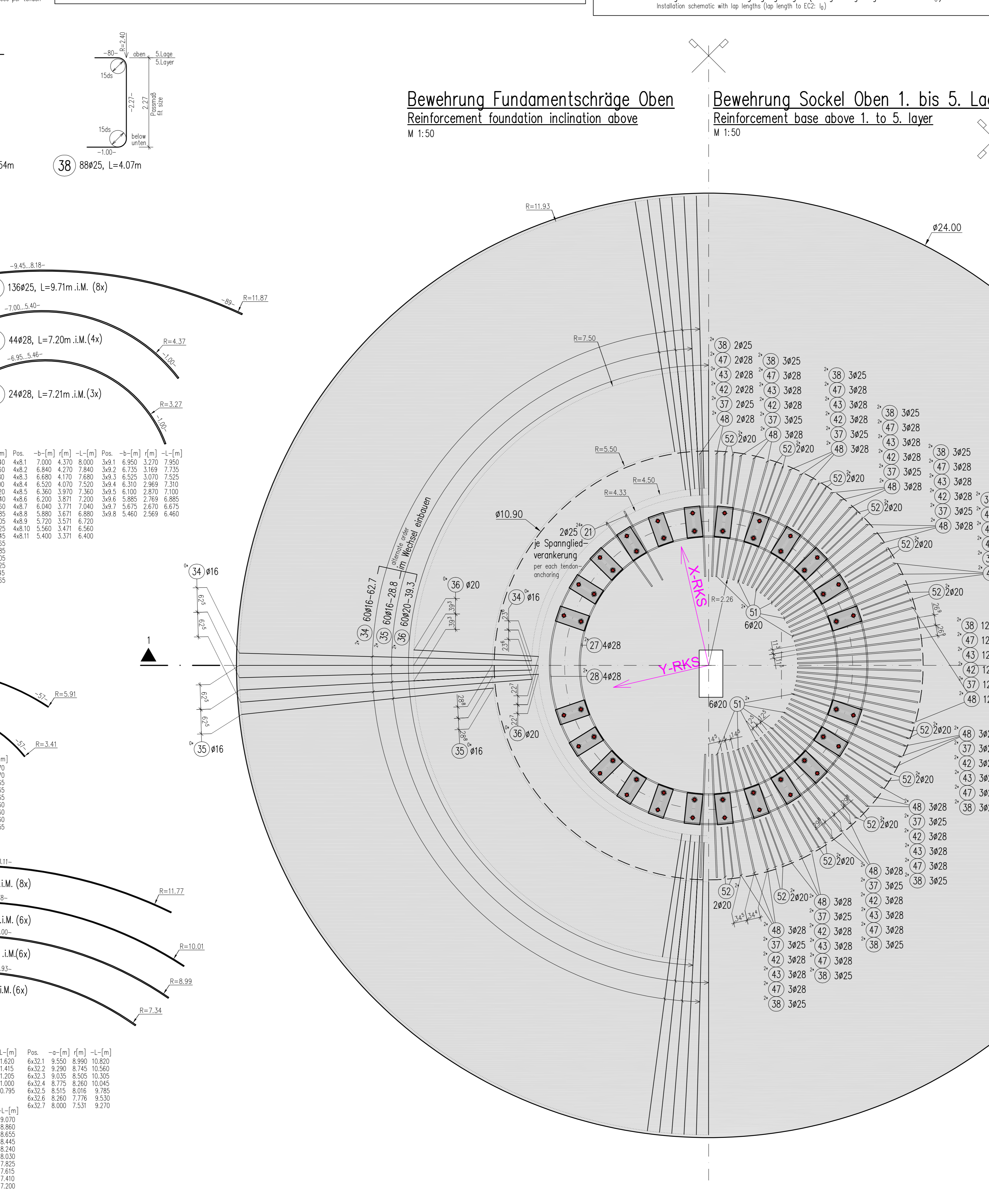
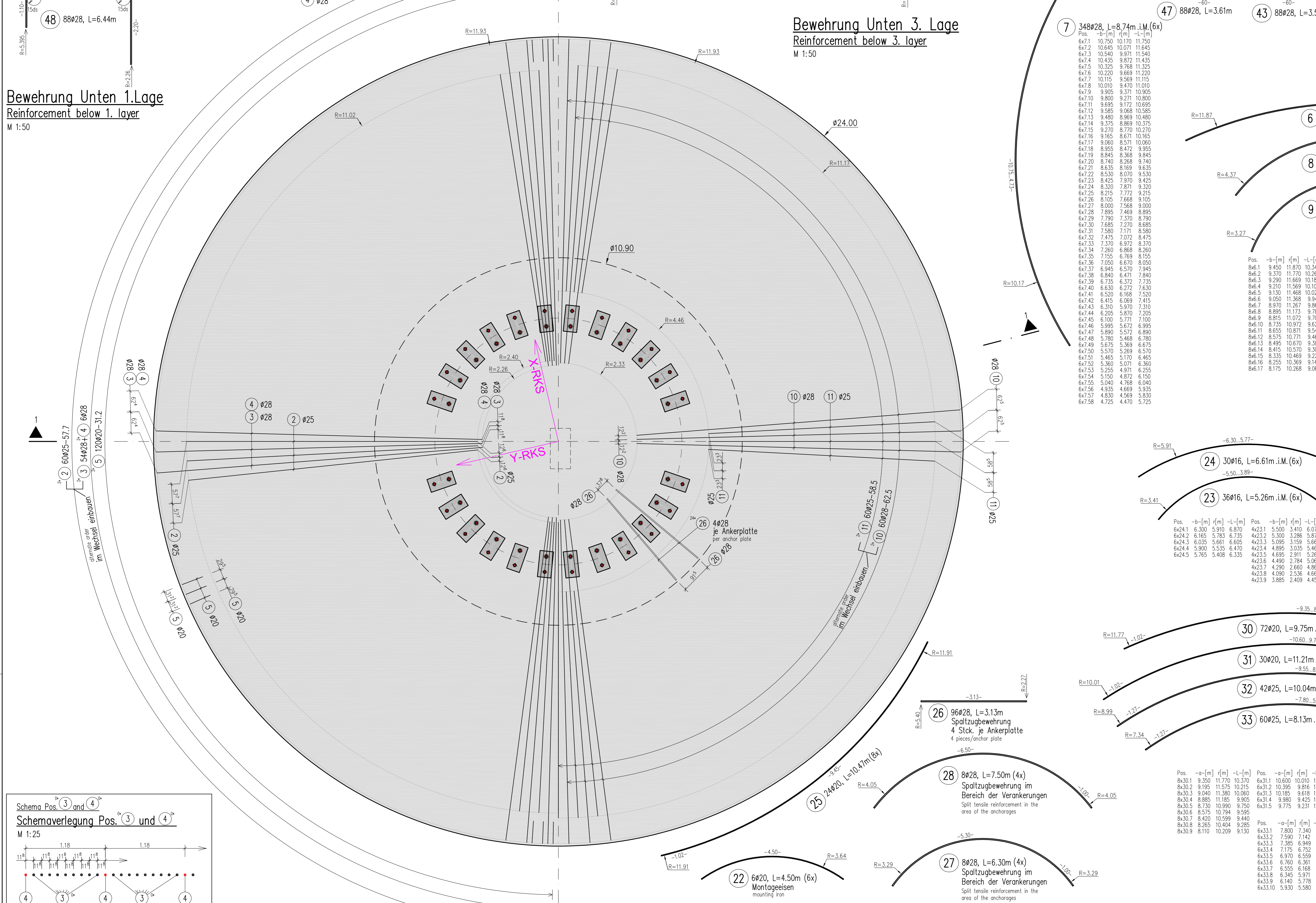
Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr:	Max Bögl	Projekt Nr.:	21683
Bauvorhaben:	Windkraftanlage	Start:	.84+1,19m
Bauteile:	Schalplan Fundament Ø24.00m	Maßstab:	1:50

erst.: Schr.	Dat.: 10.06.2021	Bögl-Planbezeichnung	
gepr.: Relieng.	Dat.: 10.06.2021	Land	Turnip
Freig.: Betz	Dat.: 10.06.2021	Segment	Basement
		Planart	
		Schalplan	f

ENERCON-Planbezeichnung: 002405554-6

Software-Datenname: DE\_E21\_005\_XX\_X\_Schalplan

Section 1-1  
M 1:50



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

## PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

### Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 26.06.2024

**Bericht Nr.:** 3443492-5-d Rev. 4

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit – Tiefgründung**  
Turm: E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 (Bögl E21)  
Fundament: Tg Ø = 23,00 m  
Windzone S, Erdbebenzone 3  
Varianten R0 und R1  
54 Fertigteilrammpfähle 45/45 cm  
54 Ortbetonrammpfähle Ø 51 cm  
44 Ortbetonrammpfähle Ø 56 cm  
22 Bohrpfähle Ø 100 cm

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Geltungsdauer:** bis 25.01.2027

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
Dokument1

Seite 1 von 10

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

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände.

**Sitz: München**  
Amtsgericht München HRB 96 869  
USt-IdNr. DE129484218  
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV  
unter [tuvsud.com/impressum](https://tuvsud.com/impressum)

**Aufsichtsrat:**  
Reiner Block (Vors.)  
**Geschäftsführer:**  
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)  
Thomas Kainz  
Simon Kellerer

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

[tuvsud.com/de-is](https://tuvsud.com/de-is)  
Telefon: 089 5791-3146

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	26.01.2022	Erstfassung
1	07.02.2023	Update der Dokumente [1] bis [4] sowie [10] bis [12] und [23]. Neue Dokumente [15], [16], und [22]. Die Dokumente [5] bis [9] bleiben weiterhin gültig. Redaktionelle Änderungen.
2	12.10.2023	Anlagenbezeichnung R0 ergänzt, Dokumente [1] bis [4], [6] bis [12], [19], [20] und [23] aktualisiert. Redaktionelle Anpassungen.
3	03.06.2024	Variante R1 ergänzt. Dokumente [13] bis [20] hinzugefügt. Dokumente [13] bis [16] und [22] aus Rev. 2 entfernt. Neue Revisionen der Dokumente [5], [25] und [26]. Redaktionelle Änderungen.
4	26.06.2024	Dokumente [23], [24] und [26] aktualisiert. Dokument [29] hinzugefügt. Erweiterung der Gültigkeit für die Erdbebenzone 3.

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.....	4
2.	Prüfgrundlage .....	5
3.	Beschreibung .....	6
3.1.	Baustoffe.....	6
3.2.	Lastannahmen .....	7
3.3.	Baugrund .....	7
4.	Prüfumfang .....	7
5.	Prüfbemerkungen.....	8
6.	Prüfergebnis.....	8
	Auflagen für Herstellung und Errichtung .....	9



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] „Grundlegendokument zur statischen Bemessung von 4 Typenpfahlgründungen (Variante A bis C)“, erstellt von grbv wind GmbH,  
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 03, vom 2022-12-19  
Enercon Dokument Nr. D02456033-3
- [2] „Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 54 Fertigteilrammpfählen 45/45 cm oder 54 Ort betonrammpfählen Ø51 cm (Variante A)“, erstellt von grbv wind GmbH,  
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 03, vom 2022-12-19  
Enercon Dokument Nr. D02456034-3
- [3] „Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 44 Ort betonrammpfählen Ø56 cm (Variante B)“, erstellt von grbv wind GmbH,  
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 03, vom 2022-12-19  
Enercon Dokument Nr. D02456035-3
- [4] „Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 22 Bohrpfählen Ø100 cm (Variante C)“,  
erstellt von grbv wind GmbH,  
Projekt Nr. 50180-173, Rev. 03, vom 2022-12-19  
Enercon Dokument Nr. D02456036-3
- [5] „Fundamentdatenblatt, Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 DE\_E21, E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Tiefgründung, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, vom 2023-11-23  
Enercon Dokument Nr. D02567170-2

#### **Variante R0:**

- [6] „Schalplan Fundament Ø23.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Plan Nr. DE-E21-305-XX-X-Schalplan, Rev. d, vom 2023-07-24,  
Enercon Plan Nr. D02456047-4
- [7] „Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-008-XX-X-Uebersicht, Rev. c, vom 2023-02-17,  
Enercon Plan Nr. D02456037-3
- [8] „Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante B“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-108-XX-X-Uebersicht, Rev. c, vom 2023-02-17,  
Enercon Plan Nr. D02456041-3
- [9] „Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante C“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-208-XX-X-Uebersicht, Rev. d, vom 2023-02-17,  
Enercon Plan Nr. D02456044-4
- [10] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Plan Nr. DE-E21-010-XX-X-Uebersicht, Rev. c, vom 2023-02-17,  
Enercon Plan Nr. D02456040-3
- [11] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante B“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-110-XX-X-Uebersicht, Rev. c, vom 2023-02-17,  
Enercon Plan Nr. D02456043-3



- [12] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante C“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-210-XX-X-Uebersicht, Rev. c, vom 2023-02-17, Enercon Plan Nr. D02456046-3

Variante R1:

- [13] „Schalplan Fundament Ø23.00m“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-305-XX-X-Schalplan, Rev. e, vom 2023-07-24, Enercon Plan Nr. D02456047-5
- [14] „Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-008-XX-X-Uebersicht, Rev. d, vom 2023-07-18, Enercon Plan Nr. D02456037-4
- [15] „Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante B“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-108-XX-X-Uebersicht, Rev. d, vom 2023-07-18, Enercon Plan Nr. D02456041-4
- [16] „Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante C“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-208-XX-X-Uebersicht, Rev. e, vom 2023-07-18, Enercon Plan Nr. D02456044-5
- [17] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-010-XX-X-Uebersicht, Rev. d, vom 2023-07-18, Enercon Plan Nr. D02456040-4
- [18] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante B“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-110-XX-X-Uebersicht, Rev. d, vom 2023-07-18, Enercon Plan Nr. D02456043-4
- [19] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante C“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE-E21-210-XX-X-Uebersicht, Rev. d, vom 2023-07-25, Enercon Plan Nr. D02456046-4

**1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [20] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683-E21, Rev. 0, vom 2021-07-14  
ENERCON Dokument Nr. D02405545-0
- [21] „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
- [22] „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
- [23] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen - Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8118409048-006-001-03, Rev. 3, vom 2023-08-28



- [24] „Uebersichtsplan Gesamtturm NH=166,6m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Zeichnung Nr. DE\_E21\_001\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. g, Datum 2024-05-17  
ENERCON Dokument Nr. D02405551-7
- [25] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E21, Bauteil: Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. f, Datum 2023-11-07  
Enercon Dokument Nr. D02405544-6
- [26] „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, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3443492-1-d, Rev. 4, Datum 2024-06-26
- [27] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm E21“ erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Projekt Nr. 21683-E21, Rev. b, Datum 2023-01-18  
Enercon Dokument Nr. D02405545-2
- [28] „Montageanleitung Ankerkorb mb 3.0“ erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. A\_958, Rev 2.0, Datum 2021-10-08
- [29] „Earthquake Matrix Germany E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01“, erstellt von ENERCON GmbH,  
Dokument Nr. D02967645, Rev. 0.0, Datum 2024-02-22

## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken –Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /4/ DIN EN 1997-1:2009 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010
- /5/ DIN 1054:2010 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ + DIN 1054/A1:2012 and DIN 1054/A2:2015



- /6/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /7/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

### **3. Beschreibung**

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

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

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

Das Fundament kann wahlweise ohne Arbeitsfugen oder abschnittsweise gemäß [6] und [13] hergestellt werden.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können den Schalplänen [6] und [13] entnommen werden.

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

	Variante A.1	Variante A.2	Variante B	Variante C
Anzahl Pfähle	54	54	44	22
Pfahlart	Fertigteiltramm-pfahl	Ortbetontramm-pfahl	Ortbetontramm-pfahl	Bohrpfahl
Pfahlquerschnitt	45/45 cm	Ø 51 cm	Ø 56 cm	Ø 100 cm

#### **3.1. Baustoffe**

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsklassen XC4, XF1, XA1, XD1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsklassen XC4, XF1, XA1, XD1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/



Betonstahl B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/  
 Spannsystem 24 Spannglieder System SUSPA EX-84

### 3.2. Lastannahmen

Die Fundamentauslegung [1] basiert auf den Lasten aus Dokument [20].

Die Lasten in [27] wurden mit dem Turmprüfbericht [26] 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).

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [29] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt. Die Nachweise in [29] wurden mit dem Turmprüfbericht [26] bestätigt.

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von  $10 \text{ kN/m}^2$  berücksichtigt.

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

### 3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit sowie der dynamischen horizontalen Wegfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Tiefgründung betragen gemäß Fundamentdatenblatt [5]:

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

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

## 4. Prüfumfang

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

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

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

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



## **5. Prüfbemerkungen**

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

Die unter Abschnitt 3.3 angegebenen Mindestwerte der Rotationssteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Tiefgründung weichen von den Anforderungen aus den Dokumenten [20] und [27] ab. Gemäß den statischen Berechnungen [2] bis [4] ist auch die höhere Anforderung an den Mindestwert der statischen Drehfedersteifigkeit gemäß den Dokumenten [20] und [27] für alle Pfahlvarianten abgedeckt. Die Abweichungen können durch diesen Bericht akzeptiert und bestätigt werden.

### **Schnittstellen:**

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

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in [24] geführt und in [26] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [22] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [23] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [22] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [23] für dieses Fundament gültig ist.

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

### **Imperfektionen:**

In der statischen Berechnung des Turmes [24] wurden zusätzliche Lasten aus Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte von  $k_{\phi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$  angesetzt. Diese Abweichung gegenüber dem unter Abschnitt 3 geforderten Mindestwert der statischen Drehfedersteifigkeit kann in Bezug auf die Ermittlung der Windlasten am Turmfuß akzeptiert werden.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [24] für die Turmschiefstellung 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [26] bestätigt.

### **Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichtes:**

Mit Dokument [29] wurde aufgezeigt, dass Lasten aus Erdbeben für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt sind.

## **6. Prüfergebnis**

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



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

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

### **Auflagen für Herstellung und Errichtung**

#### **Baugrund und Pfähle**

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsclassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [5] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dies gilt ebenso für den Mindestwert der Federsteifigkeit der dynamischen Horizontalfeder. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen.
5. Die Pfahlschnittgrößen sind in Abhängigkeit der anstehenden Bettung standortspezifisch zu ermitteln. Die Nachweise der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind für jeden Standort gesondert zu erbringen und die Mindestpfahllängen festzulegen.
6. Bei den Nachweisen der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind mögliche Pfahllasten aufgrund von Konsolidierung des schwach tragfähigen Bodens oder Grundwasserschwankungen zu berücksichtigen. Die Grundbruch- und Durchstanzsicherheit des Einzelpfahls und der Pfahlgruppe sowie gegebenenfalls Knicknachweise schlanker Pfähle sind für jeden Standort gesondert zu erbringen. Die Einflüsse der zyklischen Beanspruchung sind dabei zu berücksichtigen. Die Anschlussbewehrung der Pfähle ist mit ausreichender Verankerungslänge in das Fundament einzubinden.
7. Die getroffenen Annahmen bezüglich der äußeren Pfahltragfähigkeiten sind beim Rammen bzw. Bohren der Pfähle zu bestätigen.
8. Der unter dem Fundament anstehende gering tragfähige Boden muss entsprechend den Vorgaben in [7] bis [9] und [14] bis [16] mindestens das Frischbetongewicht des ersten Betonierabschnitts aufnehmen können. Alternativ ist der Boden entsprechend den Angaben des Bodengutachters auszutauschen.

#### **Ausführung Fundament**

9. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsclassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.



10. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete beton-technologische Maßnahmen zu ergreifen.
11. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
12. Die in [6] und [13] spezifizierte Trockenwichte der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein.

**Prüfintervalle:**

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

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

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

Der Bearbeiter

A handwritten signature in 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

Verfasser / Author:		 <b>MAX BÖGL</b> Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5			Datum / Date: 23.11.2023
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.:	D02567170-2
Datum / <i>Date:</i>	23.11.2023
Revision / <i>Revision:</i>	b

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


Verfasser / Author:  <b>MAX BÖGL</b> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 23.11.2023

## Änderungsverzeichnis / Table of revision

Revision / Revision	Datum / Date	Beschreibung / Description	Bearbeiter / Author
-	20.01.2022	Erstausgabe / First release	C. von Oesen
a	05.01.2023	Überarbeitung durch Lastrelease R1 (BS-P Lasten und Pfahlschnittgrößen Variante C) / Update due to load release R1 (BS-P loads and internal pile forces variant C)	Th. Betz
b	23.11.2023	GZT Lastfall mit maximalem Torsionsmoment angegeben / ULS load case with max Torsion moment added	U. Vitola

Datum / Date: 23.11.2023

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 / Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page: 1b
Block / Chapter: Änderungsverzeichnis / Table of revision	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 23.11.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21		

## Inhaltsverzeichnis / Table of contents

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

Bauteil / <i>Component:</i>	Typenpfahlgründung / Type pile <i>foundation</i>	Seite/ <i>Page:</i>	2b
Block / <i>Chapter:</i>	Inhaltsverzeichnis / Table of contents		

Verfasser / Author:			 <b>MAX BÖGL</b> Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5				Datum / Date: 23.11.2023
NH / HH: 166,6 m		Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21		

## 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

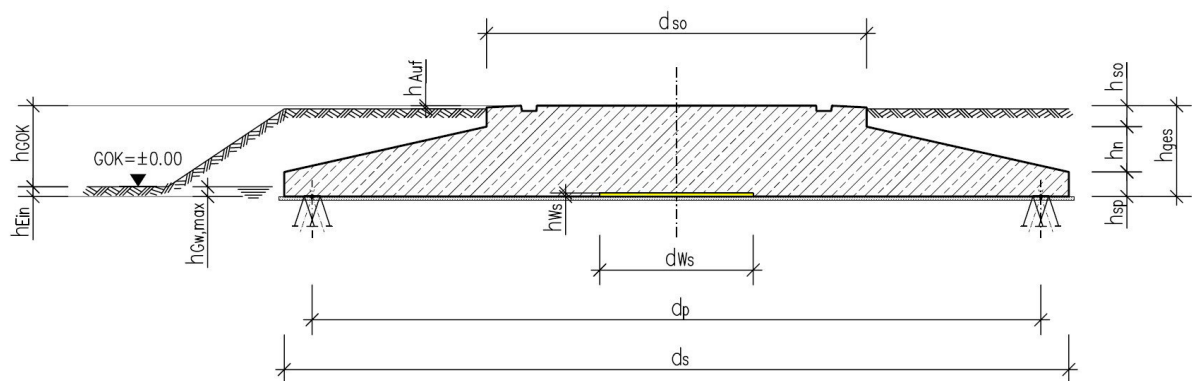
Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page: 3b
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 23.11.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21		

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

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

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: 23.11.2023

## 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/m<sup>3</sup>

Bewehrungstonnage / *Reinforcement weight* 115,0 t

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

Bauteil / Component: Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>	Seite/ Page: 5b
Block / Chapter: 2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i>	

Verfasser / Author:  Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 23.11.2023

### 3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

The followings loads were applied in the foundation design.

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

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

Enercon GmbH:

Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P\_2P as per DIBt. Document-ID: D02406103-0.0. Rev. 0.0, 2021-06-24.

In diesem Dokument werden auch die neuen Lasten R0 und R1 mit berücksichtigt.

In this document also the loads R0 and R1 are taken into account.

R0:

Enercon: Excel-Datei „D02464861\_2.0-de\_en - E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01; LL01; fatigue and ultimate loads; Certification.xlsx“. erhalten am 14.09.2022

Enercon: Ordner „D0246861\_2.0\_de-en\_Berechnung\_E-160 EP5 E3-HAT-166-ESC-01“ erhalten am 14.09.2022

R1:

Enercon: Excel-Datei „D02773903\_1.0\_de-en\_Calculation\_E-160 EP5 E3R1-HT- 166-ES-C-01; LL01; Certification.xlsx“. erhalten am 29.11.2022

Enercon: Zip-Datei „D02773903\_1.0\_de-en\_Calculation\_E-160 EP5 E3R1-HT-166- ES-C-01; LL01; Certification.zip“ erhalten am 29.11.2022

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

##### Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / Concrete specific weight	$\gamma_c$	=	25,0 kN/m <sup>3</sup>
Betongewicht / Concrete weight	$G_c$	=	20 175 kN

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

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m		Datum / Date: 23.11.2023
		Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	

### Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / <i>Inner thickness backfill</i>	$t_{\text{MaxÜs,inn}}$	=	0,500 m
Höhe Erdüberschüttung außen / <i>Outer thickness backfill</i>	$t_{\text{MaxÜs,aus}}$	=	1,400 m
Bodenwichte / <i>Soil specific weight</i>	$\gamma_{\text{Üs}}$	=	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Gewicht Erdüberschüttung / <i>Soil cover weight</i>	$G_{\text{MaxÜs}}$	=	5 820 kN

### Auftrieb / Buoyancy

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

## 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]	171 768	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 / <i>Component:</i>	Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>	Seite/ <i>Page:</i> 7b
Block / <i>Chapter:</i>	3 Belastung / <i>Loading</i>	

Verfasser / Author:				Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 23.11.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / 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	GZG / ULS	D.3
$V_{Ed}$ [kN]	19 833	24 380	18 030
$H_{Ed}$ [kN]	1 623	833	958
$M_{b,Ed}$ [kNm]	235 774	91 662	125 810
$M_{t,Ed}$ [kNm]	49	18 469	3 799
$\gamma_E$	1,10	1,35	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*
- $\gamma_E$ : Sicherheitsfaktor / *Safety factor*

Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page:	8b
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: 23.11.2023

## 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>	$k_f, \text{dyn}$	=	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 <sup>2</sup>	0 MN/m <sup>2</sup>
1 m – 15 m	1 MN/m <sup>2</sup>	10 MN/m <sup>2</sup>
15 m – 20 m	30 MN/m <sup>2</sup>	144 MN/m <sup>2</sup>

Bauteil / Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page: 9b
Block / Chapter: 4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements	

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: 23.11.2023

## 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:	10b
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses		

Verfasser / Author: <div style="text-align: center;">  <b>MAX BÖGL</b>  <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: 23.11.2023

## 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	$b_p/b_p = 45 / 45 \text{ cm}$
Querschnitt Durchmesser / Cross section diameter	$d_p = 51 \text{ cm}$
Anzahl / Quantity	$n_p = 54$
Pfahllänge gemäß Statik / Pile length according to structural report	$l_p = 20,0 \text{ m}$
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	$\gamma_F$	$F_{Gk}$ ohne Auftrieb/ $F_{Gk}$ without buoyancy	$F_{Gk}$ mit Auftrieb/ $F_{Gk}$ with buoyancy	$F_{Qk}$	$\Sigma F_k$
[-]	[-]	[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	$\gamma_F$	$F_{Gd}$ ohne Auftrieb/ $F_{Gd}$ without buoyancy	$F_{Gd}$ mit Auftrieb/ $F_{Gd}$ with buoyancy	$F_{Qd}$	$\Sigma F_d$
[-]	[-]	[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: 11b
Block / Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses	

Verfasser / Author:			 <b>MAX BÖGL</b> Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5				Datum / Date: 23.11.2023
NH / HH: 166,6 m		Hybriddturm / Hybrid tower: DE_E21		

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

#### Pfahlkräfte Variante B / Pile loads variant B

##### Pfahldaten / Pile data

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

#### **Charakteristische axiale Pfahllasten / characteristic axial pile loads**

Lastfall/ Load case	$\gamma_F$	$F_{Gk}$ ohne Auftrieb/ $F_{Gk}$ without buoyancy	$F_{Gk}$ mit Auftrieb/ $F_{Gk}$ with buoyancy	$F_{Qk}$	$\sum F_k$
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,00 / 1,00	-1018	-	-994	-2012
Zug / Tension	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/ Load case	$\gamma_F$	$F_{Gd}$ ohne Auftrieb/ $F_{Gd}$ without buoyancy	$F_{Gd}$ mit Auftrieb/ $F_{Gd}$ with buoyancy	$F_{Qd}$	$\sum F_d$
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-1376	-	-1117	-2493
Zug / Tension	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 / Type pile foundation	Seite/ Page: 12b
Block / Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses	

Verfasser / Author:  <b>MAX BÖGL</b> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>			Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	NH / HH: 166,6 m	Hybridturm / Hybrid tower: DE_E21	Datum / Date: 23.11.2023

## 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	$\gamma_F$	$F_{Gk}$ ohne Auftrieb/ $F_{Gk}$ without buoyancy	$F_{Gk}$ mit Auftrieb/ $F_{Gk}$ with buoyancy	$F_{Qk}$	$\Sigma F_k$
[-]	[-]	[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	$\gamma_F$	$F_{Gd}$ ohne Auftrieb/ $F_{Gd}$ without buoyancy	$F_{Gd}$ mit Auftrieb/ $F_{Gd}$ with buoyancy	$F_{Qd}$	$\Sigma F_d$
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-2687	-	-2086	-4773
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: 13b
Block / Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses	

Verfasser / Author:			 <b>MAX BÖGL</b> Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-E21
				Datum / Date: 23.11.2023
WEA / WT: Enercon E-160 EP5	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 <sub>d</sub>	44 kN	52 kN	166 kN
Einspannmoment in der Platte / <i>Fixed-end moment in plate</i>	M <sub>d</sub>	124 kNm*	164 kNm*	816 kNm*
Max. Moment in Pfahlmitte / <i>Max. moment in centre of pile</i>	M <sub>d</sub>	78 kNm*	102 kNm*	500 kNm*
*in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung / *depending on soil stiffness				

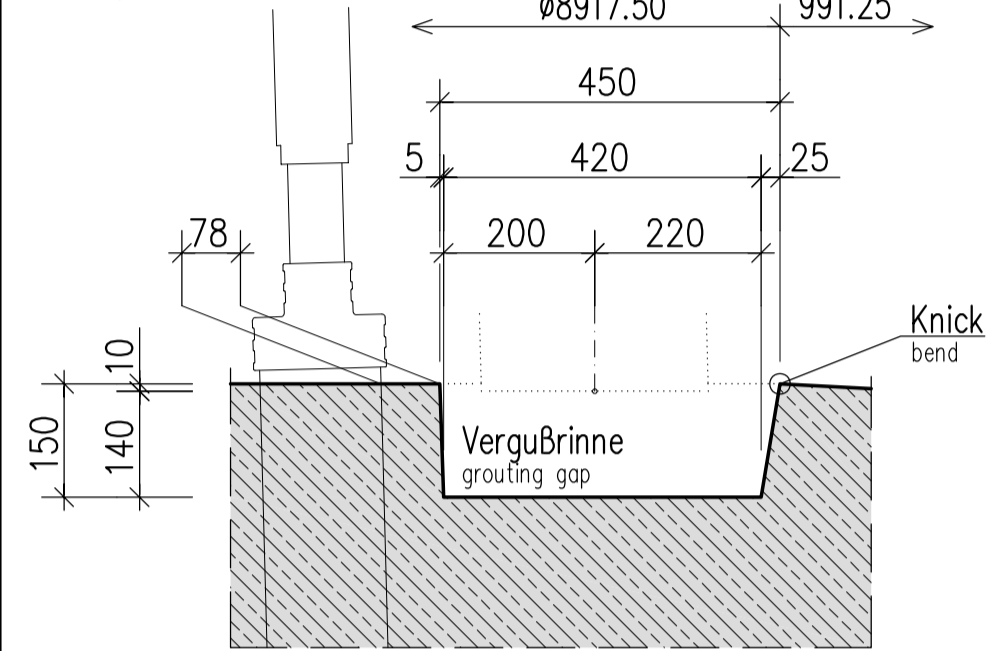
Bauteil / Component:	Typenpfahlgründung / Type pile foundation	Seite/ Page:	14b
Block / Chapter:	5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses		

## M 1:50

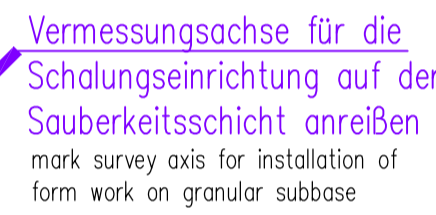
Detail Tür "Vergußbrett" siehe Plan:  
Detail door "Overmoulding board" see Plan:  
DE\_E21\_081\_XX\_X\_Ubersicht


$$h_l \text{ [m]} = \frac{\frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{vorh}}} - V_{\text{erf}}}{A_{\text{Aufflost}}} = \frac{\frac{581,9 \text{ [to]}}{\gamma_{\text{vorh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} - 323,3 \text{ [m}^3\text{]}}{322,2 \text{ [m}^2\text{]}}$$

M 1:10



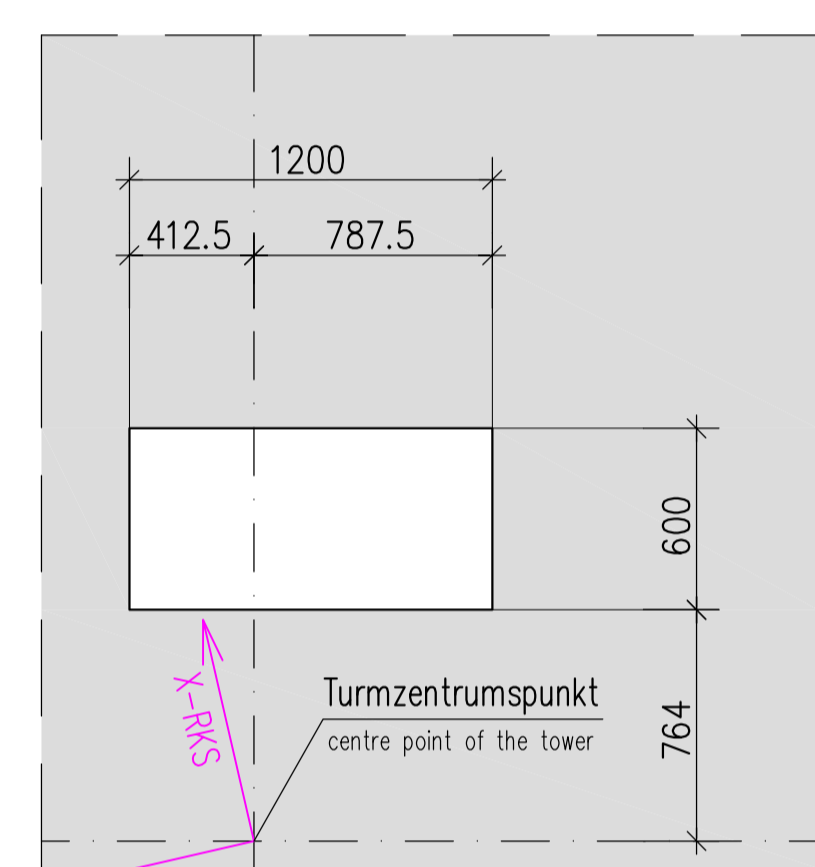
M 1:50



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

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

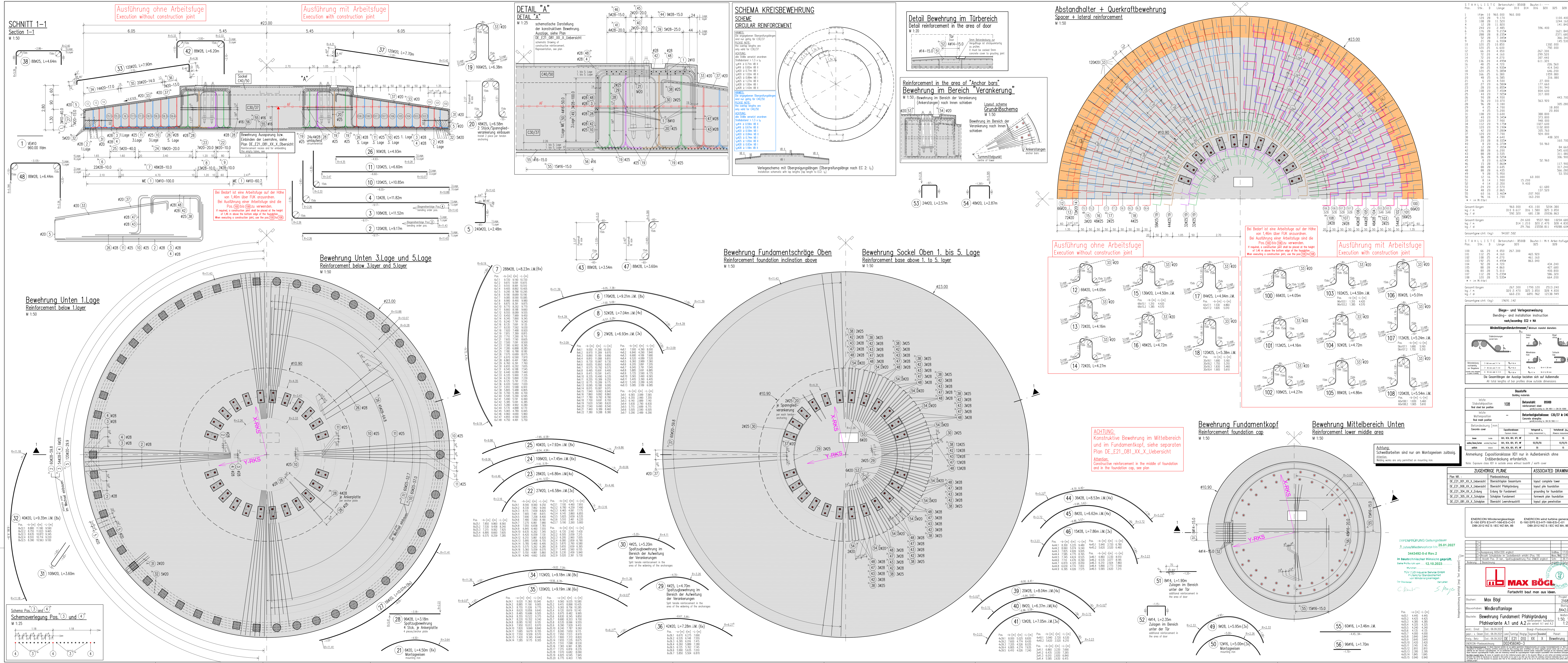
M.: 1:25



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.

## Fortschritt baut man aus Ideen

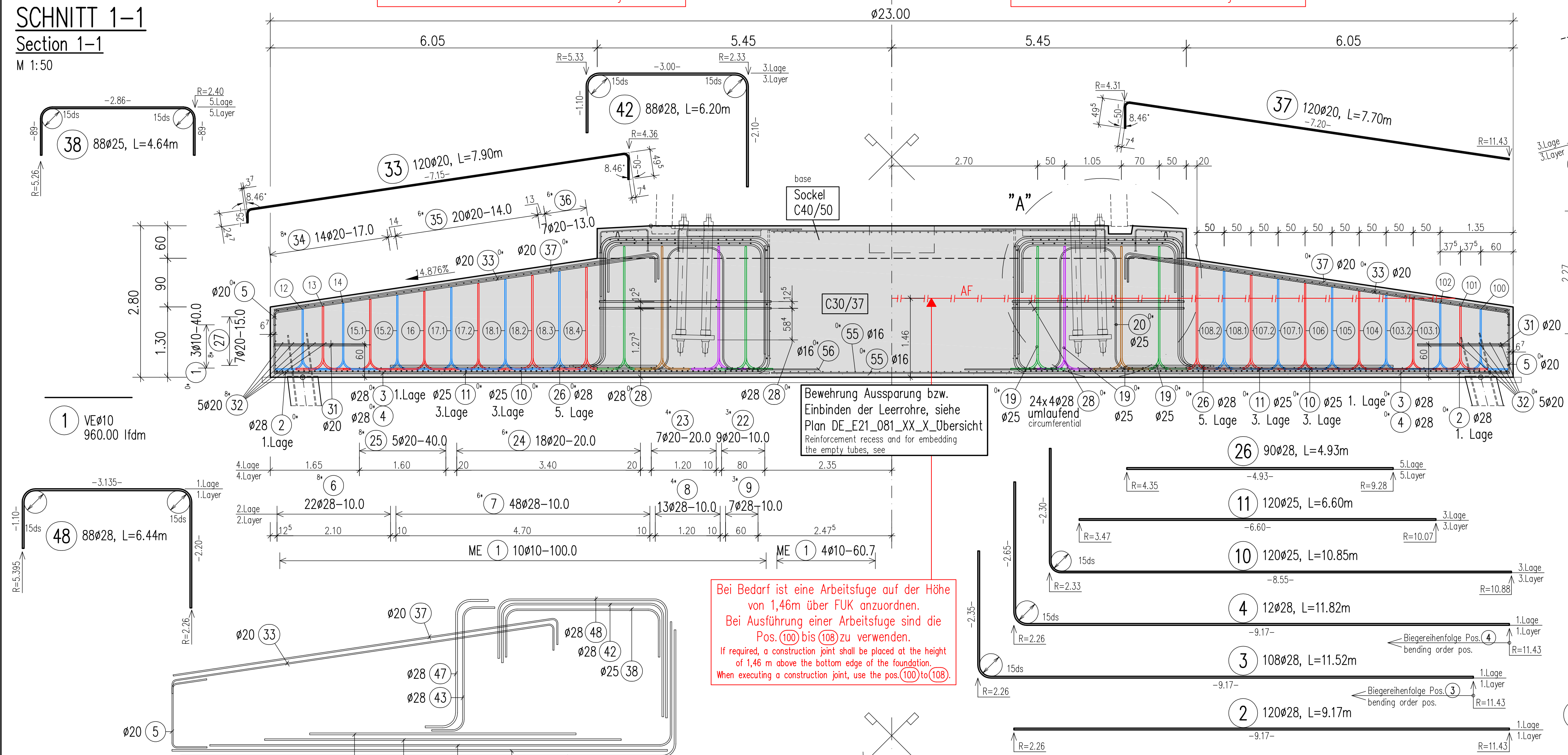
Microsoft-Unternehmensname: In diesem Dokument befinden sich urheberrechtliche Schutzschilde und sonstige kennzeichnende Worte. Ohne unsere  
 vorherige schriftliche Zustimmung darf diese Urkunde weder ververvielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden oder in einer anderen Weise  
 außerhalb des vom Dokument zugrundeliegenden Projekts, mit welchem Verbindungswissen vorhanden ist, insbesondere unterzogen werden eine Verwendung außerhalb des  
 vom Dokument zugrundeliegenden Projekts, sowie eine Verwendung innerhalb des zugrundeliegenden Projekts bezüglich anderer Dritter betreffende Leistungsbezüge.  
 Microsoft Corporation, Inc. reserves all copyrights and all other intellectual property rights in this document. Without our prior written and individual permission,  
 this document neither be reproduced nor disclosed to third parties nor be used in any other way than while the underlying contractual relationship with us in place.  
 We would like to see this document for purposes other than for the underlying project as well as the use for services solely concerning third parties within the  
 project area.



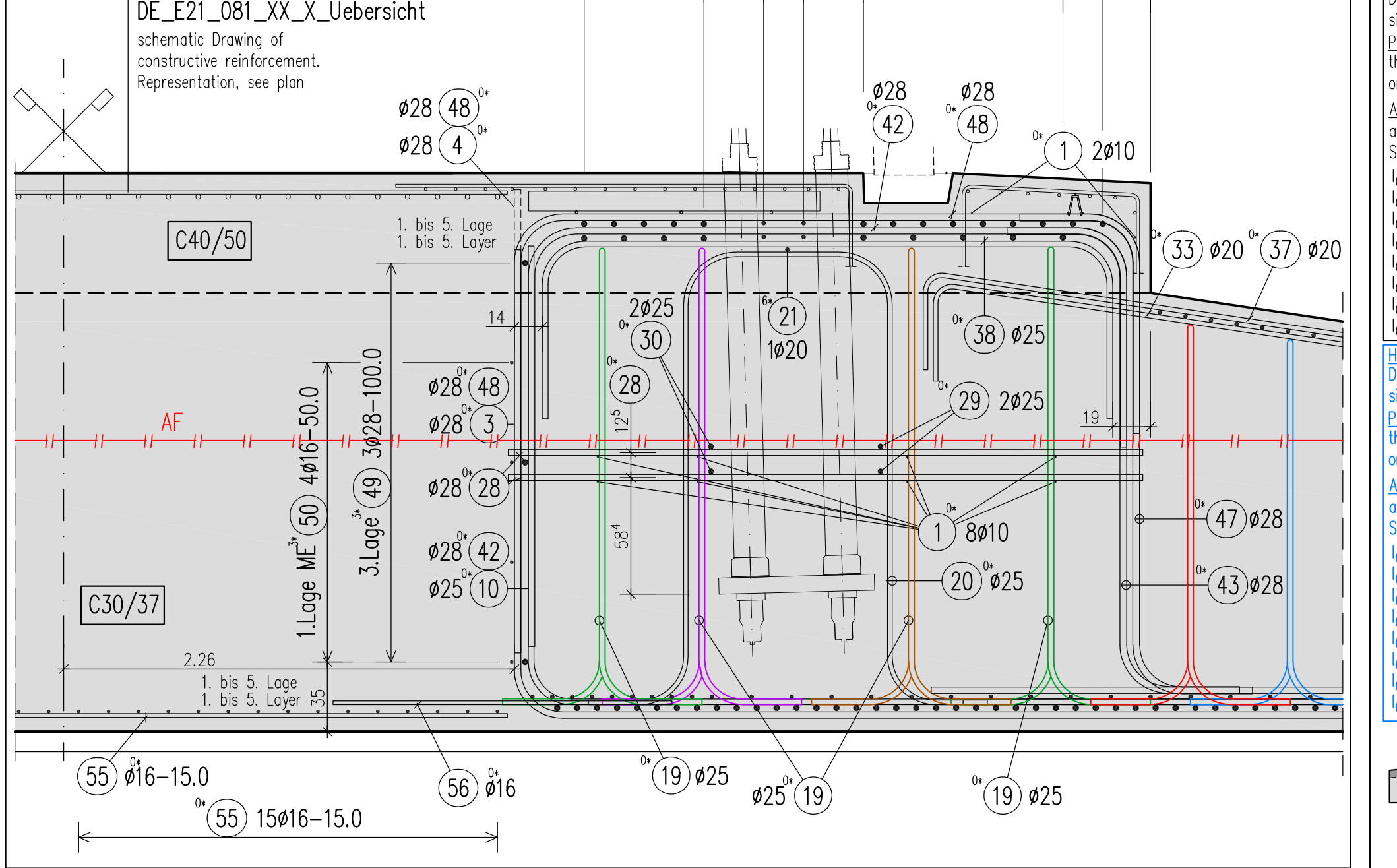
SCHNITT 1-1  
Section 1-1

Ausführung ohne Arbeitsfuge  
Execution without construction joint

Ausführung mit Arbeitsfuge  
Execution with construction joint



M 1:25 schematische  
der konstruk  
Auszüge, sie

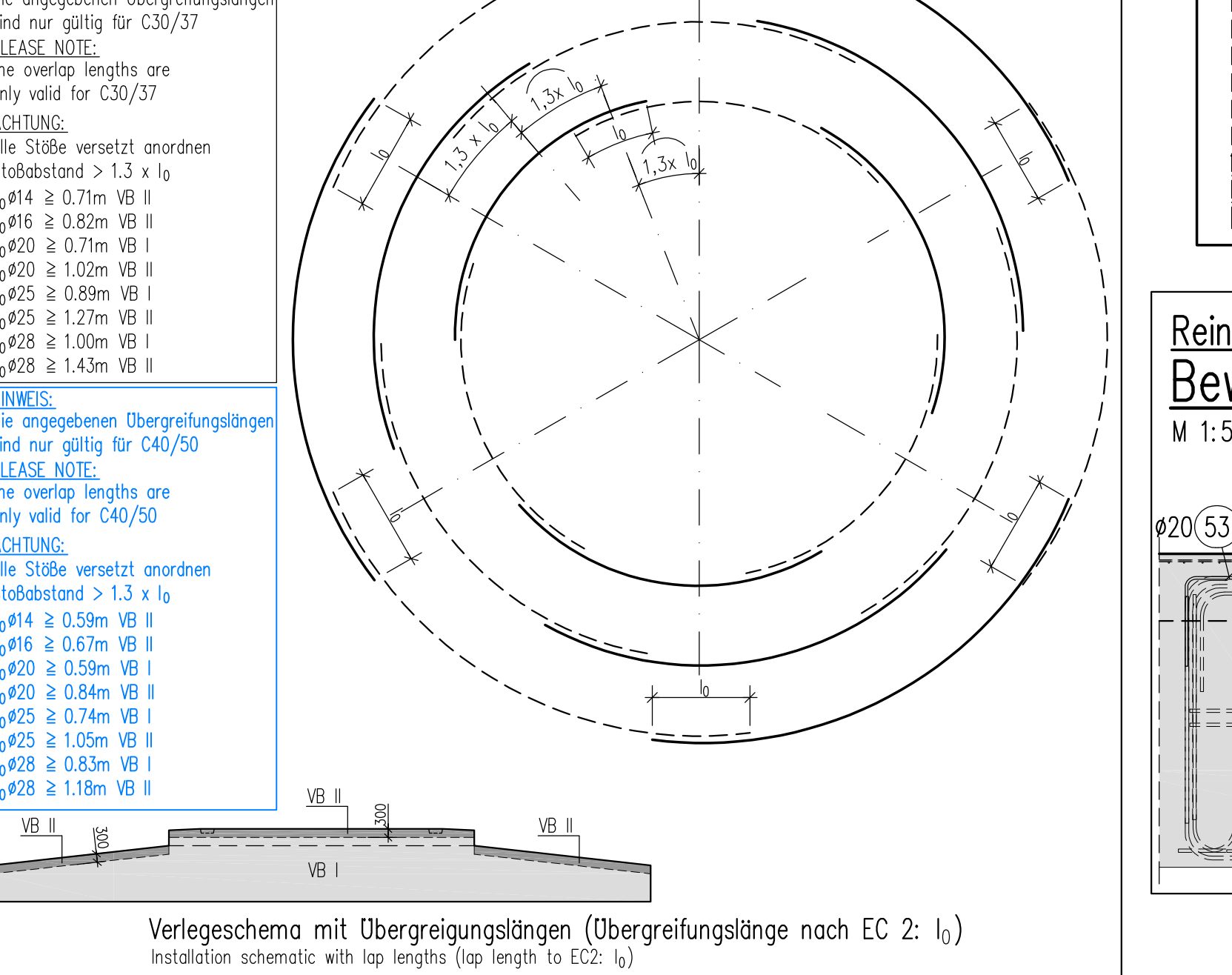


SCHEMA KREISBEWEHRUNG  
SCHEME

### SCHEME

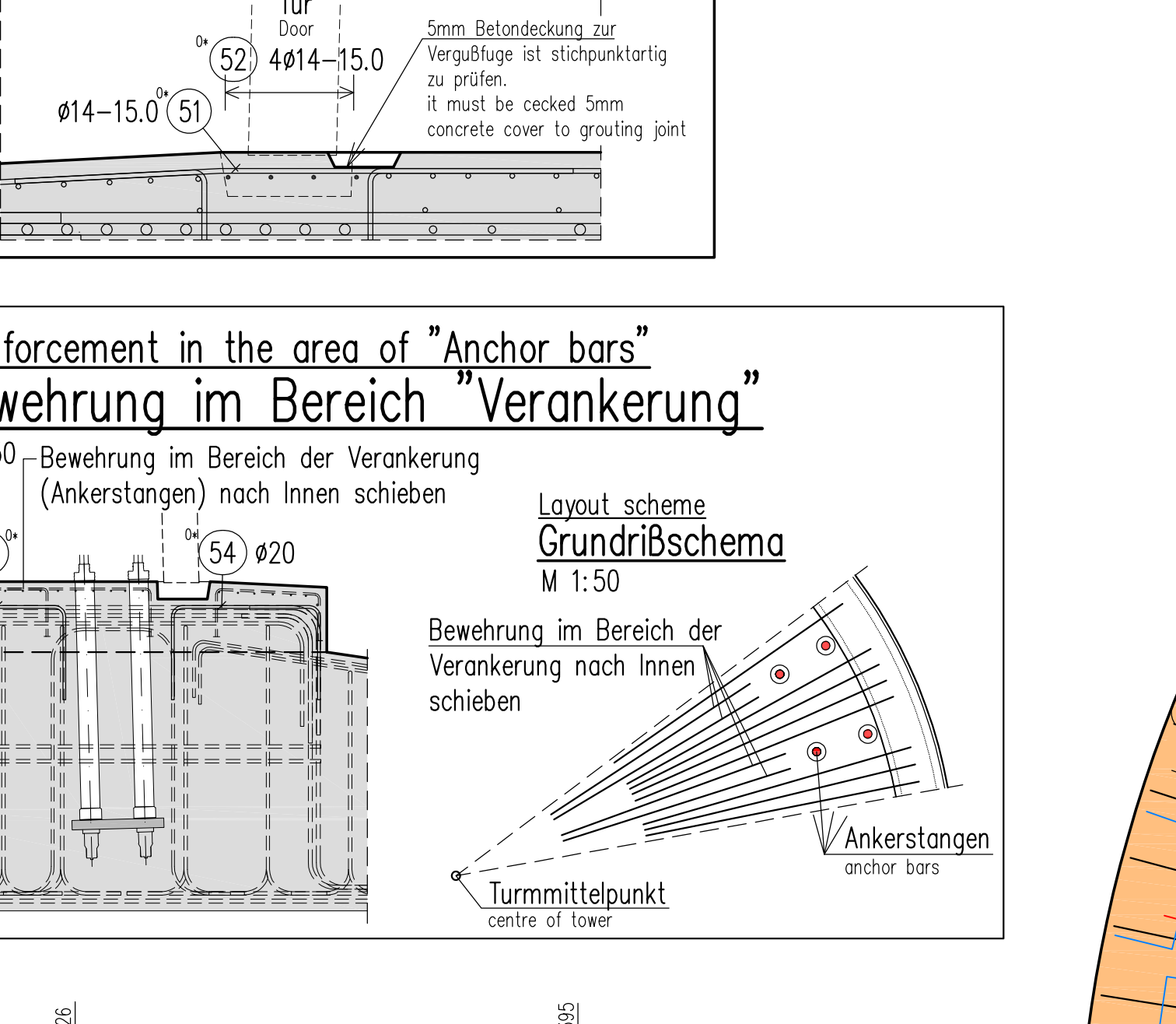
### CIRCULAR REINFORC

INVESTIGATIONS:



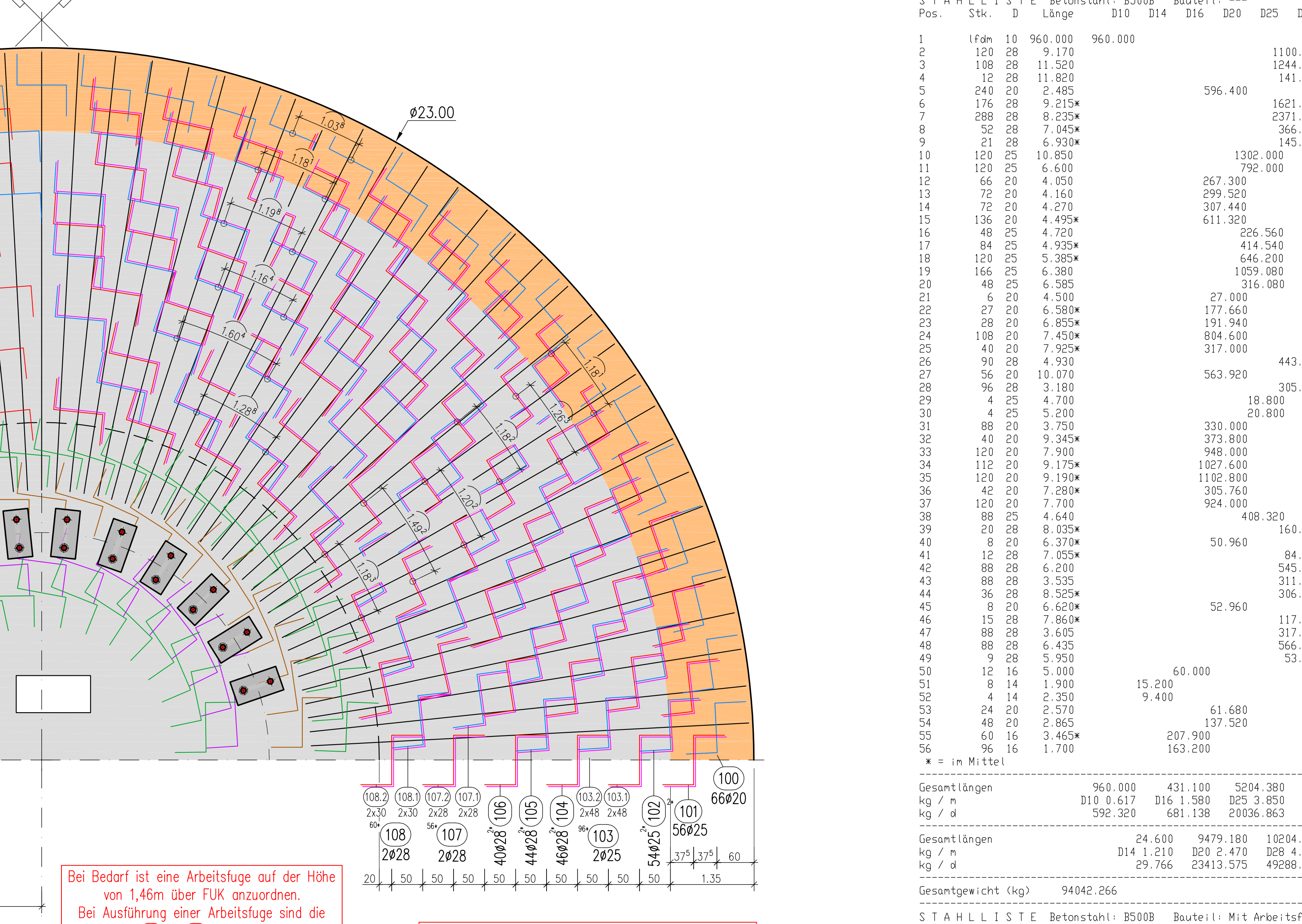
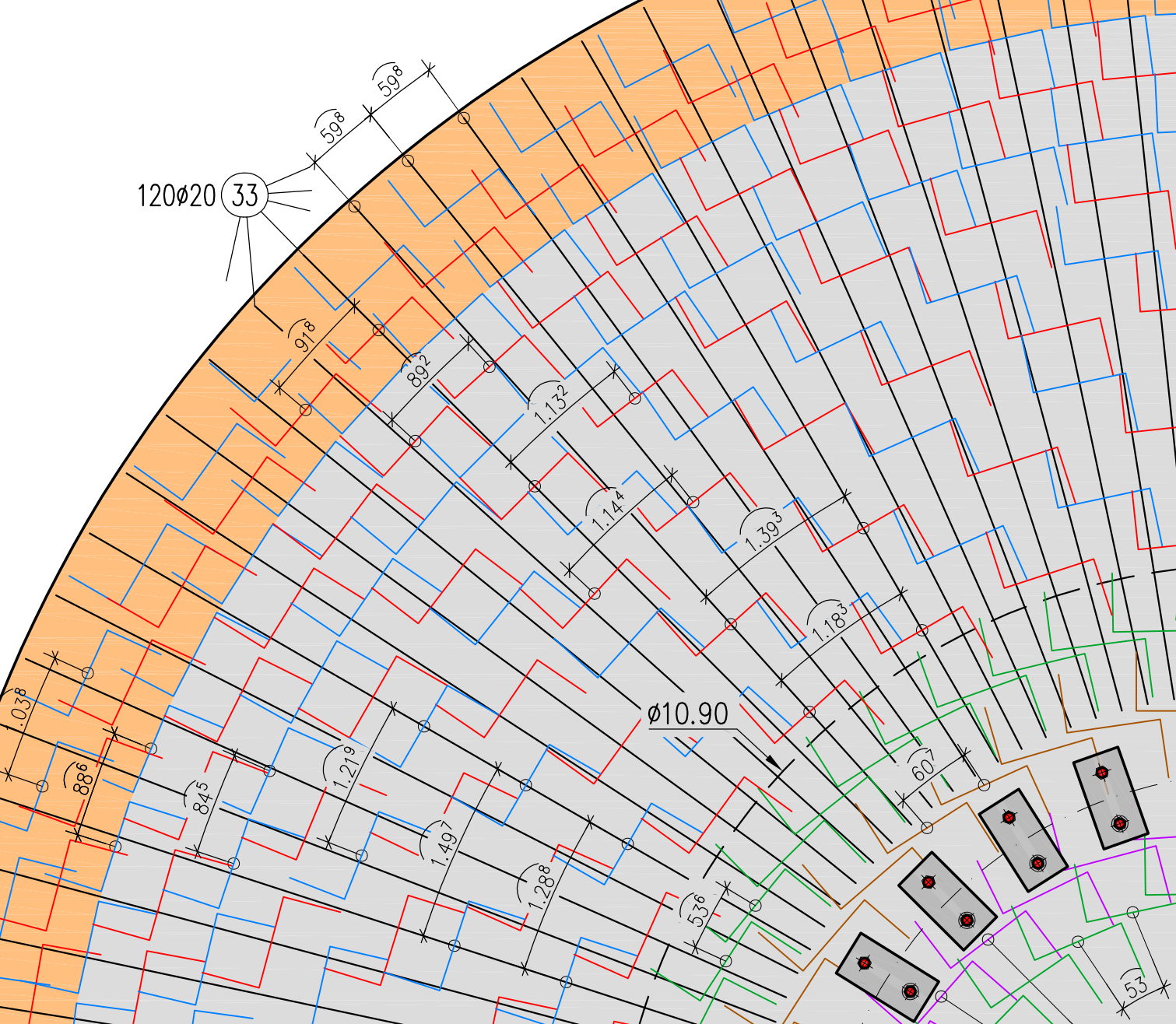
## Detail Bewehrung im Türbereich

detail reinforcement i  
1:20



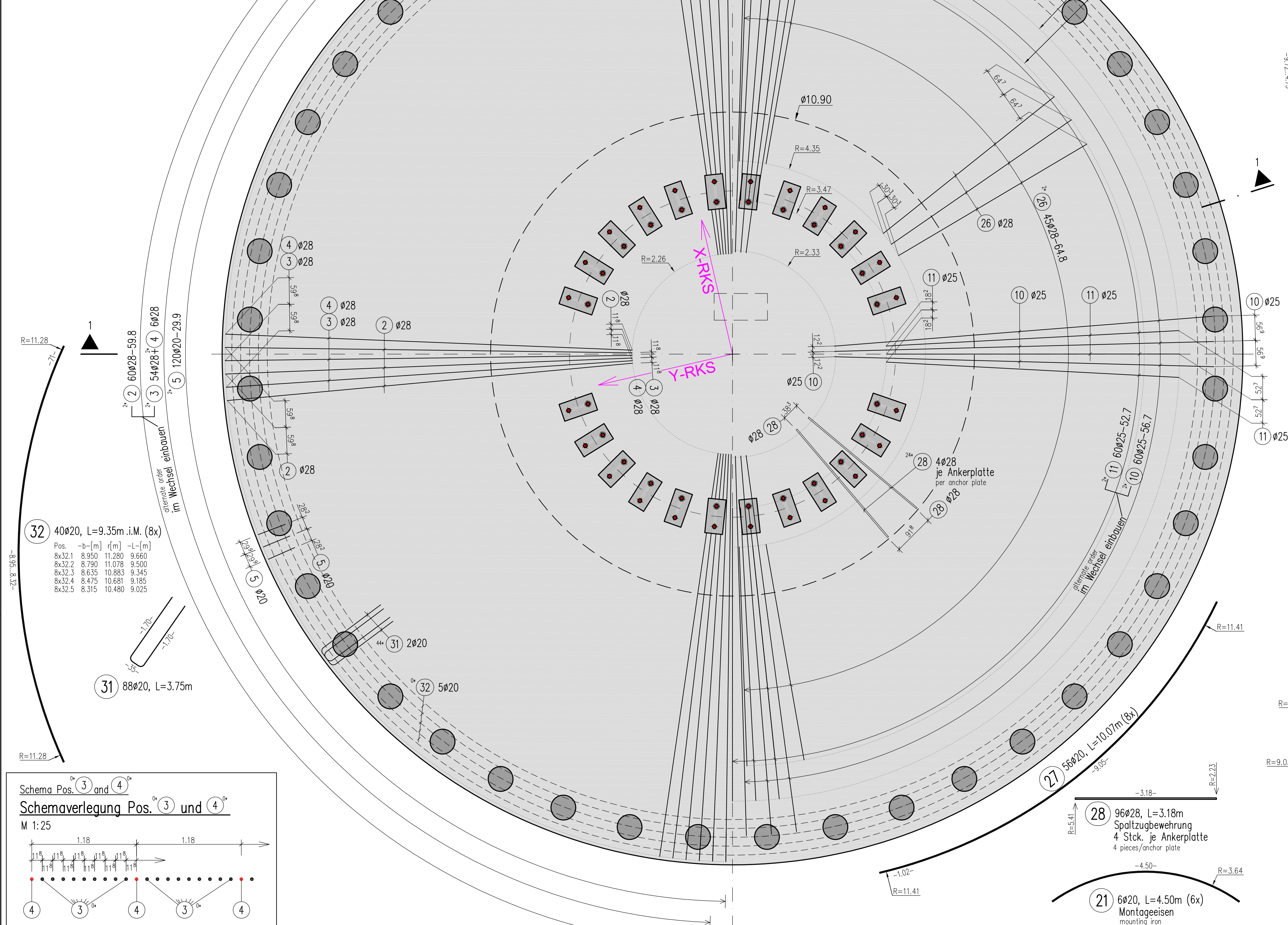
Stabdhalter + Querkraftbewehrung  
+ lateral reinforcement

---



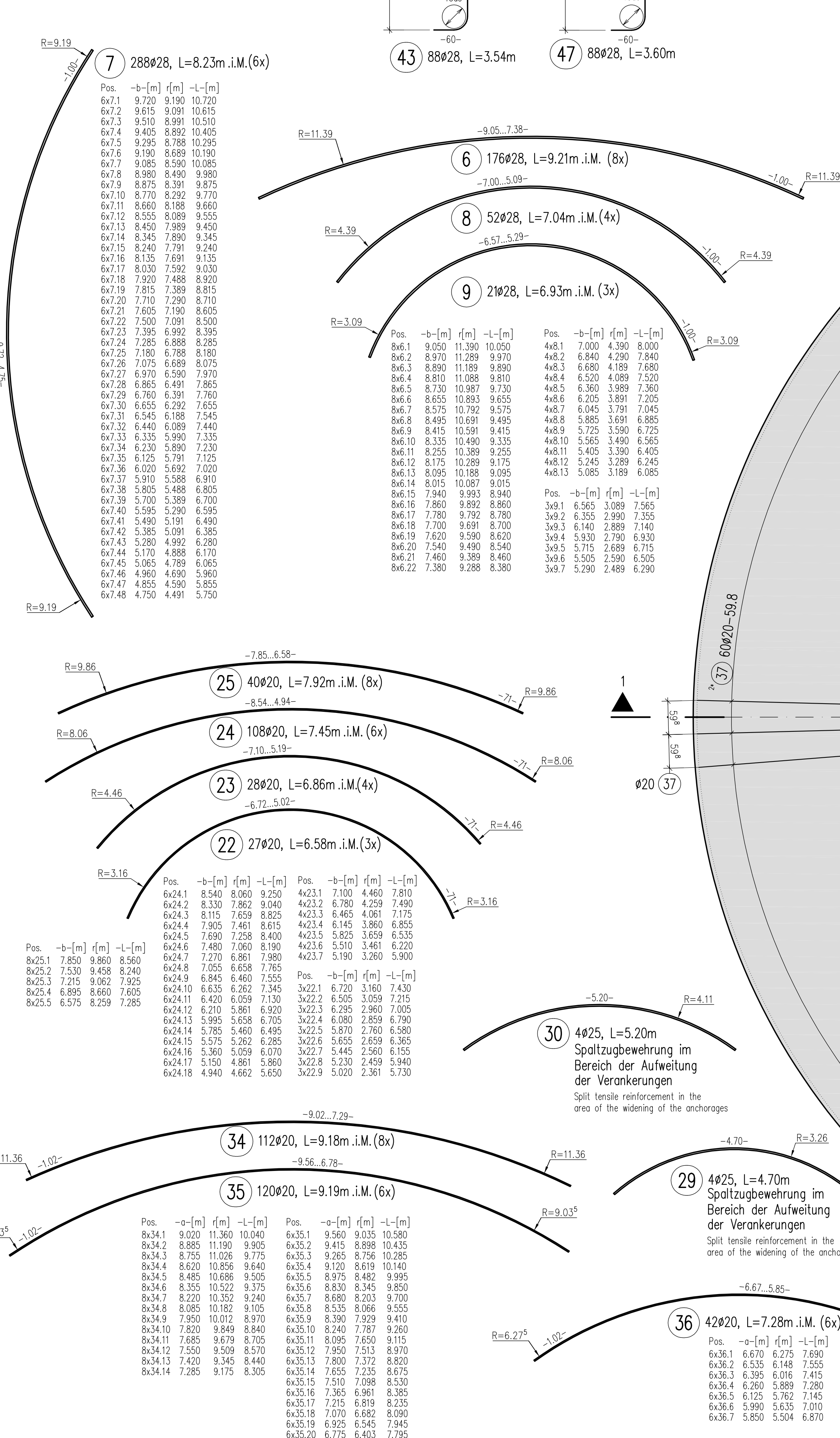
Bewehrung Unten 1.Lage  
Reinforcement below 1.layer

M 1:50



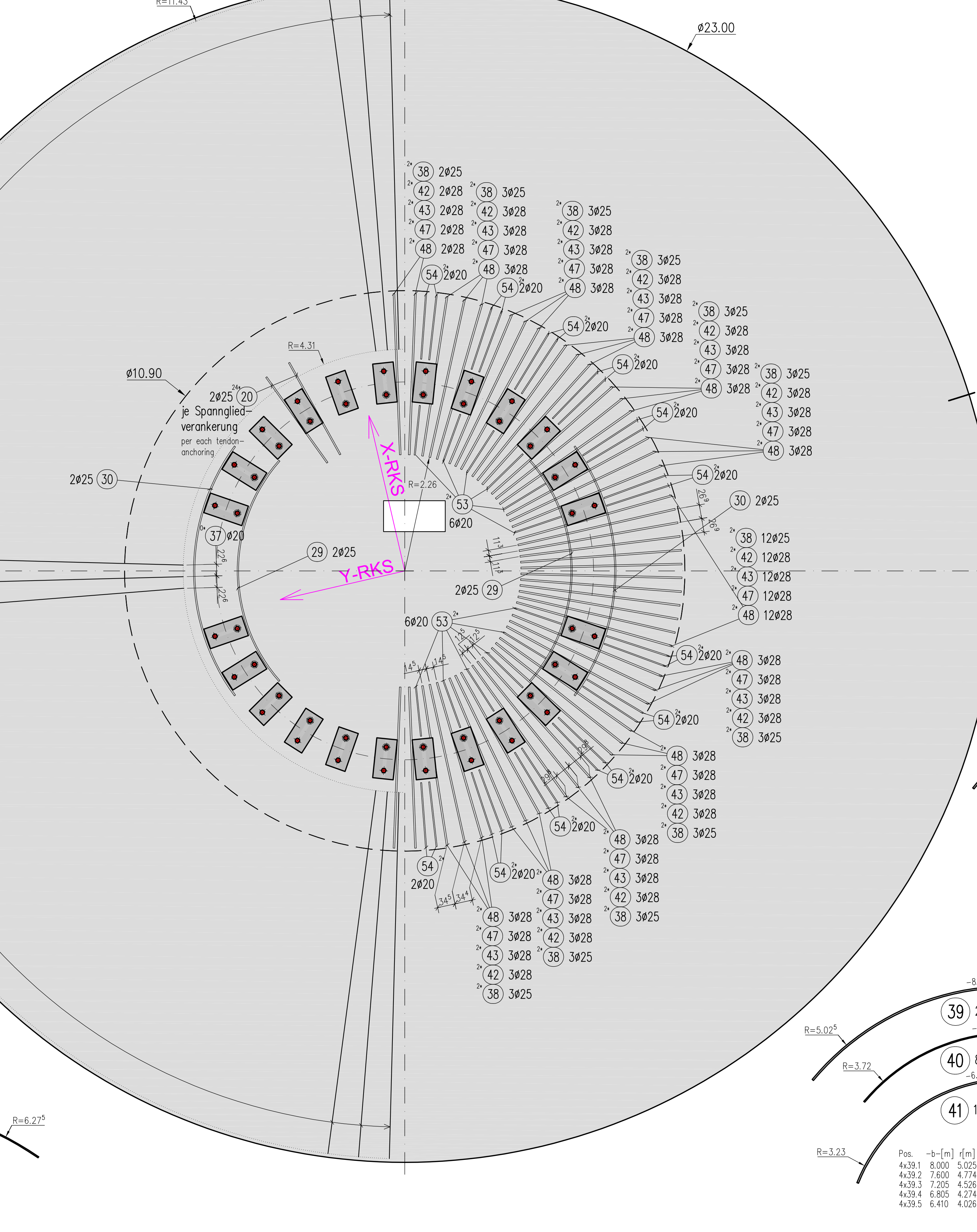
Bewehrung Unten 3.Lage und 5.Lage  
Reinforcement below 3.layer and 5.layer

M 1:50



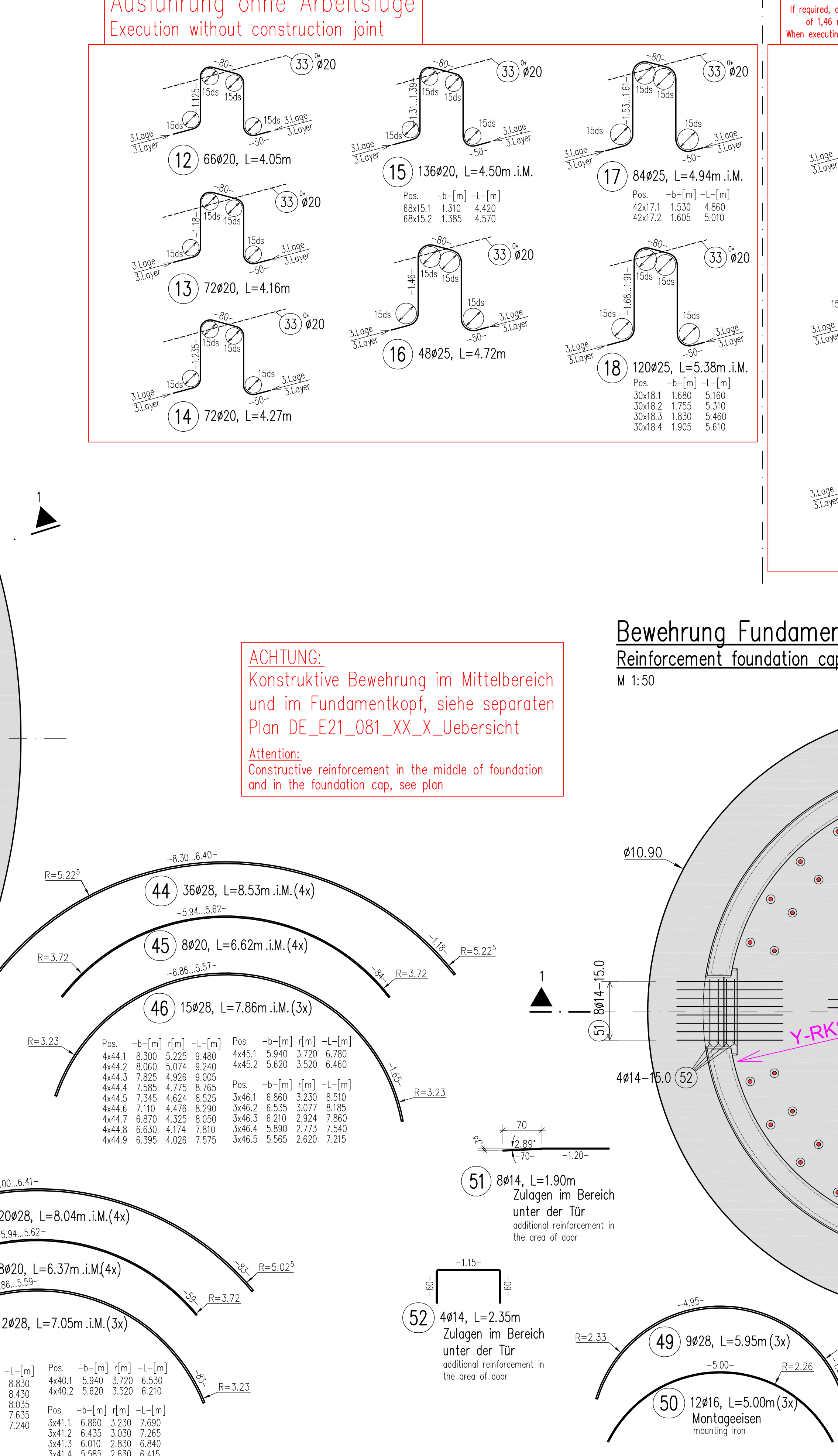
Bewehrung Fundamentschräge Oben  
Reinforcement foundation inclination above

M 1:50

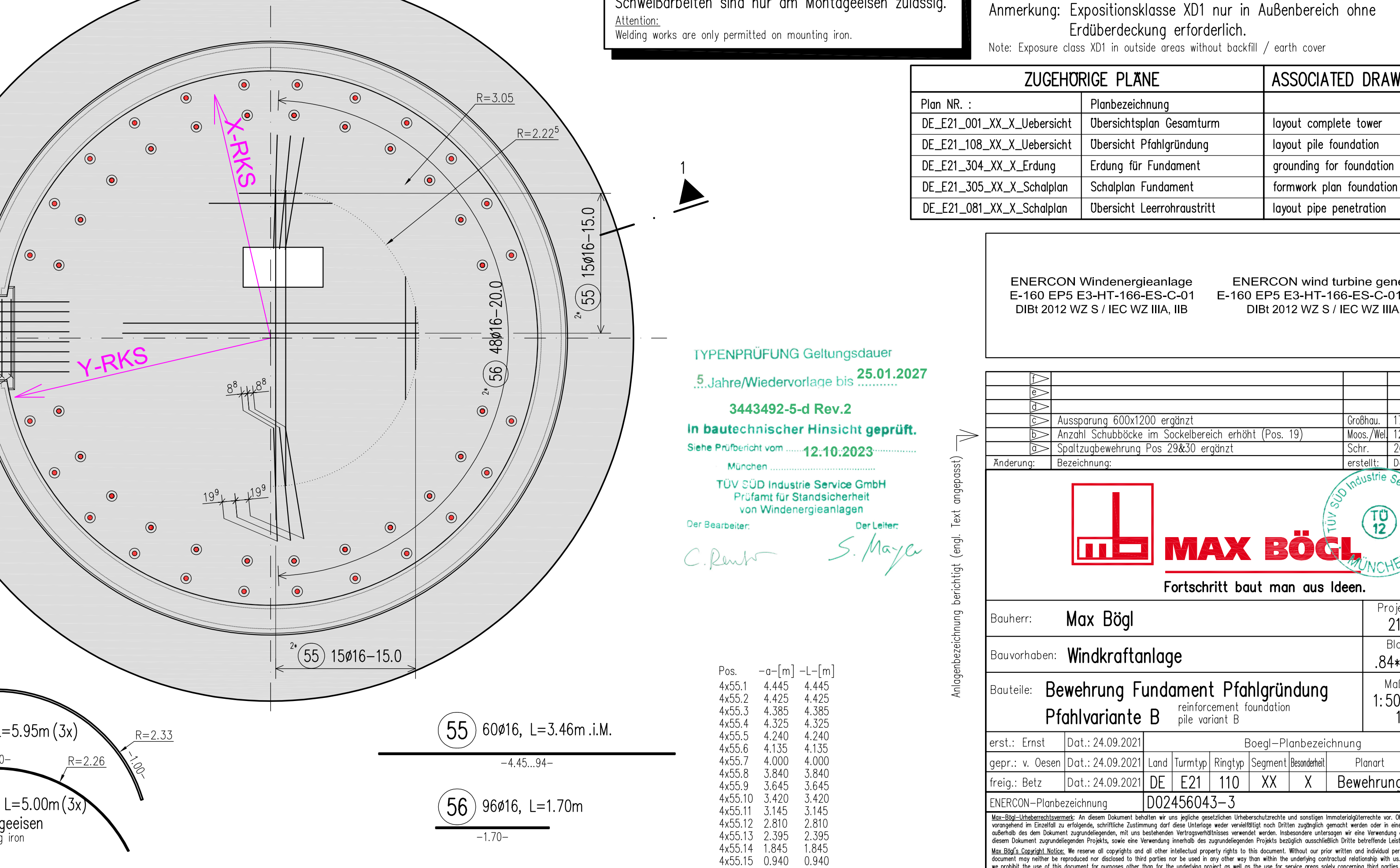


Bewehrung Sockel Oben 1. bis 5. Lage  
Reinforcement base above 1. to 5. layer

M 1:50

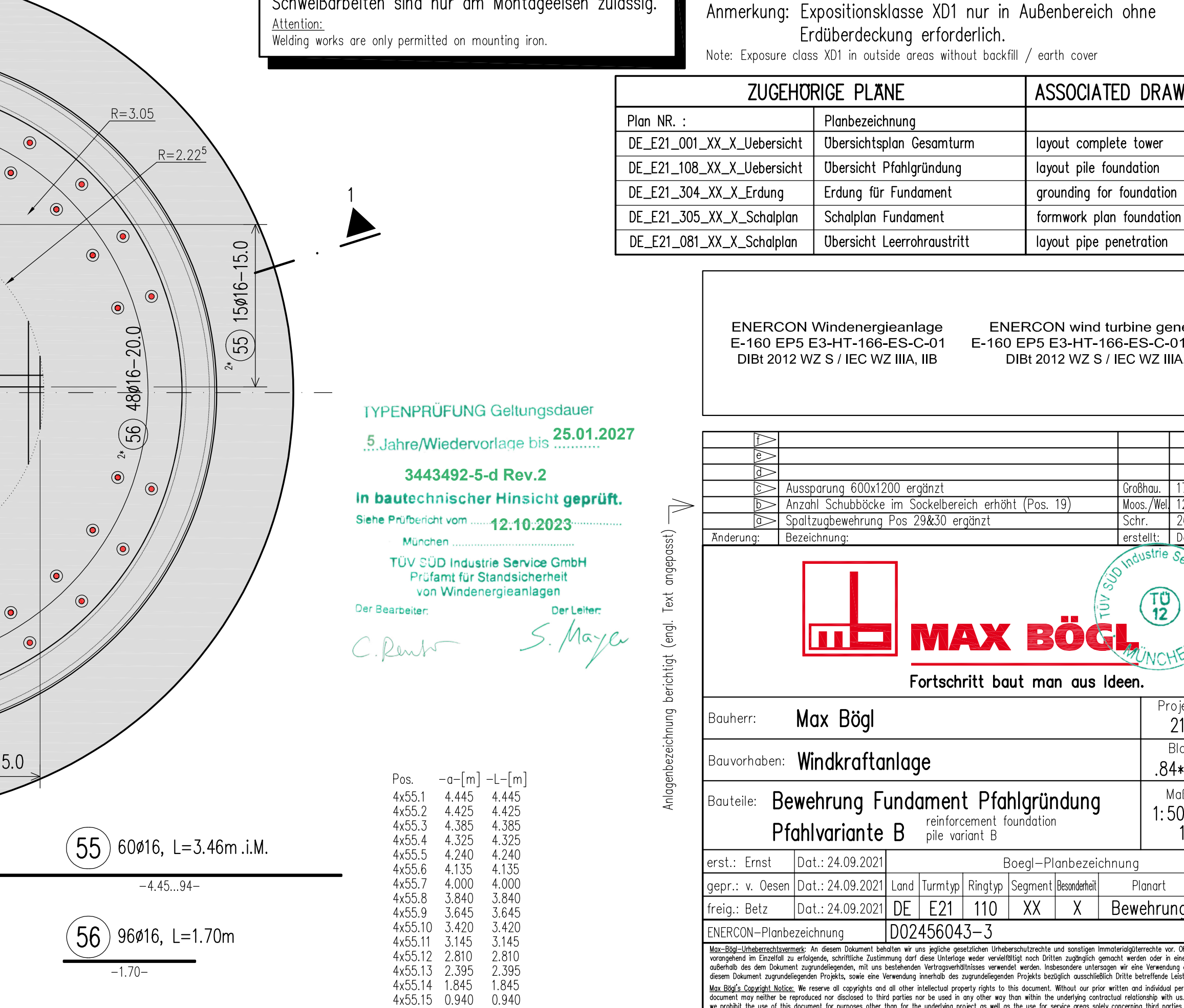


<u>Fundamentkopf</u>		<u>Be</u>
foundation cap	 	Rein



wehrung Mittelbereich Unten  
enforcement lower middle area

**Achtung:**  
Sicherheitsstellen sind nur zur Montage



ZUGEHÖRIGE PLÄNE		ASSOCIATED DRAWINGS
	Planbezeichnung	
XX_Ubersicht	Übersichtspläne Gesamtumriss	layout complete tower
XX_Ubersicht	Übersicht Pfahlgründung	layout pile foundation
XX_Erdung	Erdung für Fundament	grounding for foundation
XX_Schäpplan	Schäpplan Fundament	formwork plan foundation
XX_Schälplan	Übersicht 1. Leerschaltstritt	layout plate penetration

ENERCON Windenergieanlage E-180 EP5 E3-HT-186-ES-C-01 DIBt 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, IIIB	ENERCON wind turbine gen. E-180 EP5 E3-HT-186-ES-C-01 DIBt 2012 WZ S / IEC WZ IIIA
--	--

	Aussparung 600x1200 ergänzt	Grobholz	1
	Anzahl Schublässe im Sockelbereich erhöht! (Pos. 19)	Mess-/Werkzeug	1
	Spallzubehörring Pos. 28&30 ergänzt	Schr.	2
	Bemerkungen:		



**MAX BÖGL**  
Fortschritt hat man aus Ideen

bauteile:	Max Bogen	2
außen vorhaben:	Windkraftanlage	.84
bauteile:	Bewehrung Fundament Pfahlgründung Reinforcement foundation	Na 1:50

Heron-Plan		Baug-Mitgliedschein					
Anspr.: v. Osen	Dat.: 24.03.2021	Land	Tisch	Ringst.	Segenst.	Brennstadl.	Planort
Anspr.: Betz	Dat.: 24.03.2021	DE	E21	110	XX	X	Bewehrung
HERON-Planbezeichnung		D02456043-3					

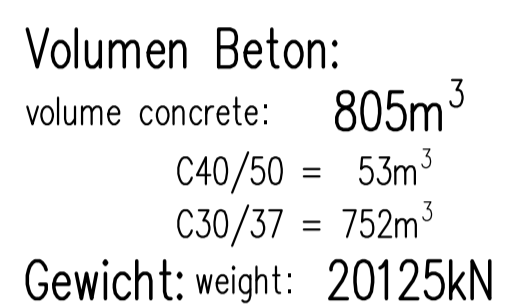
**WICHTIGER HINWEIS:** Bei diesem Dokument handelt es sich um eine gefälschte, unvollständige und unvollständige Kopie eines Dokuments, das die Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3 bestätigt. Dieses Dokument ist nicht gültig und kann nicht zur Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3 verwendet werden. Die Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3 ist nur durch das Dokument "Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3" bestätigt. Dieses Dokument ist nicht gültig und kann nicht zur Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3 verwendet werden. Die Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3 ist nur durch das Dokument "Mitgliedschaft in der Heron-Planbezeichnung D02456043-3" bestätigt.



## Section 1-1

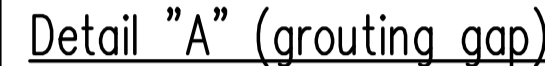
M 1:50

Detail Tür "Vergußbrett" siehe Plan:  
Detail door "Overmoulding board" see Plan:  
DE\_E21\_081\_XX\_X\_Ubersicht



TOP VIEW RECESS

M.: 1:25



M 1:10



M 1:50



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

erforderliche Endauflast auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I:

$$A_{\text{Auflast}} = \frac{\pi}{4} \times (23,00^2 - 10,90^2) = 322,2 \text{ m}^2$$
$$V_{\text{erf}} = 323,3 \text{ m}^3$$
$$G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 323,3 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ to/m}^3 = 581,9$$

$$h_l \text{ [m]} = \frac{\frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{verh}}} - V_{\text{erf}}}{A_{\text{Auflast}}} = \frac{\frac{581,9 \text{ [to]}}{\gamma_{\text{verh}} \text{ [to/m}^3\text{]}} - 323,3 \text{ [m}^3\text{]}}{322,2 \text{ [m}^2\text{]}}$$

Belastungsebene/klasse concrete strength class:	C30/37 und C40/50
Zementart: grade of cement:	CEM II-Zemente ohne (exclusively) oder CEM II-Zemente mit Flugasche (cement with fly ash) oder CEM I- und CEM II-Zemente mit Flugasche (cement with fly ash)
Befestigung Fundament: required concrete cover:	$c_w = 5,5\text{cm}$
Expositionsklasse: exposure class:	XA1, XA2, XA3, XE1 nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 206-1 wenn nicht vom Baugruppingschützer andersherausgestellt werden (Anmerkung: Expositionsklasse XD1 nur im Außenbereich ohne Erdberührung anwendbar) if there are not higher requirements from the building group consultant (geologist) (Note: Exposure class XD1 in outside areas without backfill / earth cover)
Feuchtigkeitshöhe: humidity class:	WF
Ausführung: execution:	Massebeton nach DAStB-Richtlinie. Massive Bauteile aus Beton Fundamentausführung nach / Bauweise concrete according to DAStB-guideline, concrete structural elements Foundation construction according to: DIN 206-1-1 v.M. DIN 1045-2, DIN EN 1992-1-1 und DIN 13767 v.M. DIN 1045-3

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

Grundlegende Anforderungen  
 Nennwert des Großtkorns der Gesteinskornung:  
 Fundamentkopf  $\leq 16\text{mm}$   
 verbleibender Fundamentkörper  $\leq 32\text{mm}$   
 Klasse des Chloridgehaltes: Cl 0,20  
 Frischbetontemperatur nach Angabe Betontechnologie  
 jedoch maximal  $30^\circ\text{C}$

Zusätzliche Anforderungen

- Kriech- und schwindarmen Beton für die Außenbauteile.
- Wegen der großen Betonabmessungen ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkung ein Betontechnologie einzuschalten.
- Probekörper sind gemäß baustellenbezogenen Prüfpplan zu erstellen.
- Fundamentoberfläche nachverdichten.
- Fundamentanker und Leerrohre nach den Angaben der Firma Enercon verlegen.

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

Die Aushubarbeiten sind von einem Fachingenieur zu überwachen. Die Betonzusammensetzung ist durch entsprechende Lieferzeugnisse zu bestätigen.

Die Nachbehandlungsmaßnahmen sind mit dem Belontechnologen auf die Betoneigenschaften und die Witterungsverhältnisse abzustimmen.

Fundamental requirements  
 maximal grain size of the aggregate:  
 foundation cap  $\leq 16\text{mm}$   
 remaining foundation body  $\leq 32\text{mm}$   
 class of the chlorid concentration:  $\leq 0.20$   
 Temperature of fresh concrete according to expert for concrete technology but not higher than  $30^{\circ}\text{C}$

Additional requirements

Low shrinking 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 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 out of the work on site.  
Only figured dimensions are to be used.  
Any discrepancies are to be reported to the engineer before proceeding.

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 PLÄNE		ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR.:	Planbezeichnung	
DE_E21_001_XX_XÜbersicht	Übersichtslan Gesamtumf	layout complete tower
DE_E21_304_XX_XErdung	Erdung für Fundament	grounding for foundation
DE_E21_010_XX_XBewehrung	Bewehrungslan Fundament	foundation reinforcement plan
DE_E21_110_XX_XBewehrung	Bewehrungslan Fundament	foundation reinforcement plan
DE_E21_210_XX_XBewehrung	Bewehrungslan Fundament	foundation reinforcement plan
DE_E21_081_XX_XÜbersicht	Übersichtslan Leerrauchstritt	layout pipe penetration
M578	Spannriegelverankerung 30	tension anchoring 30
DE_E21_M012_Montageplan	Absteckung Montagegeräten	staking out mounting frame

7				
8	Lage Auspassung angepasst	Kalb	24.07.2023	
9	Schraffur im Schnitt 1-1 angepasst	Kalb	24.07.2023	
10	Auspassung 600x1200 ergänzt	Größkuh	17.02.2023	
11	Anlagenbezeichnung berichtigt (eng. Text angepasst)	Welter	12.01.2023	
12	Arbeitslage hinzugefügt	Welter	20.12.2022	
Endanmerkung	Berechnungen	erstellt	Datum	



Fortschritt baut man aus Ideen

Bauherr:	Max Bögl	Projekt Nr.:	21683
Bauvorhaben:	Windkraftanlage	Blattgr.:	.84*1.19m

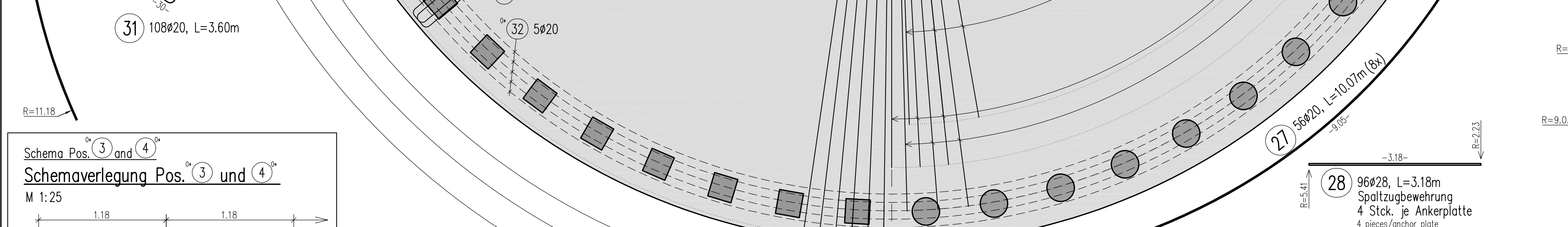
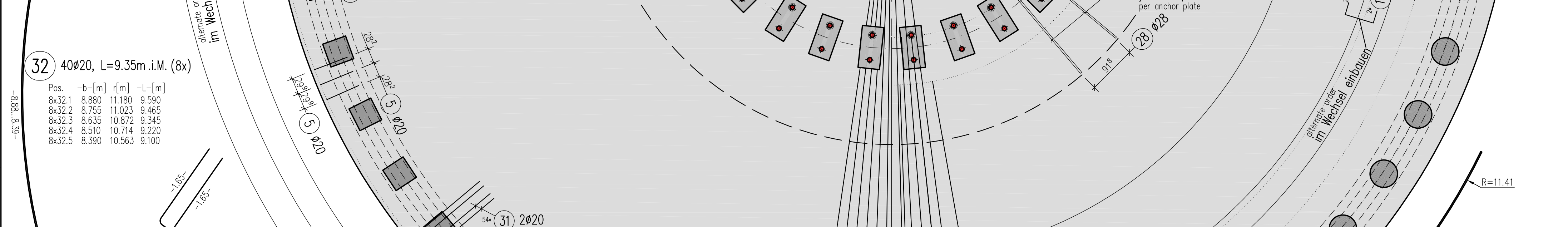
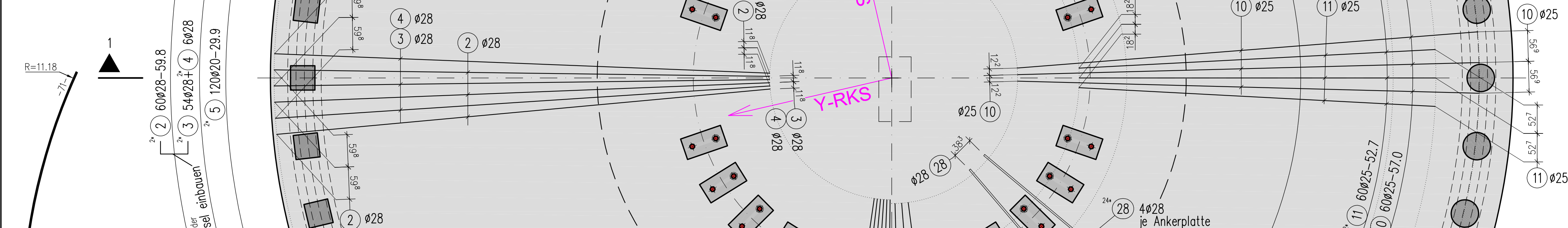
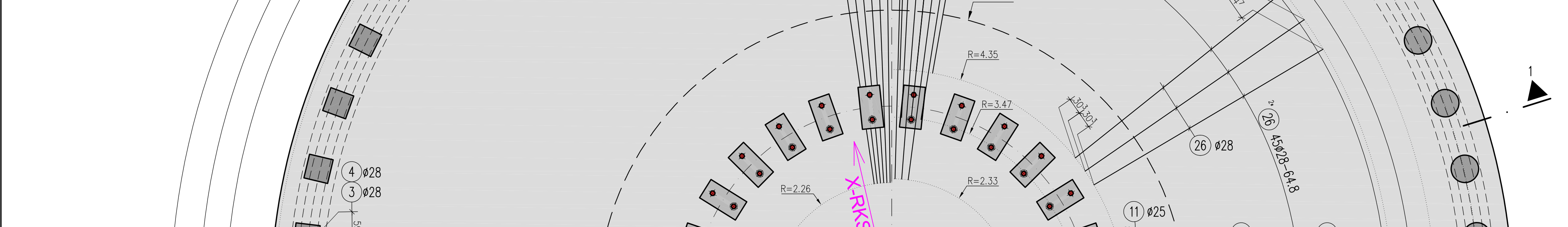
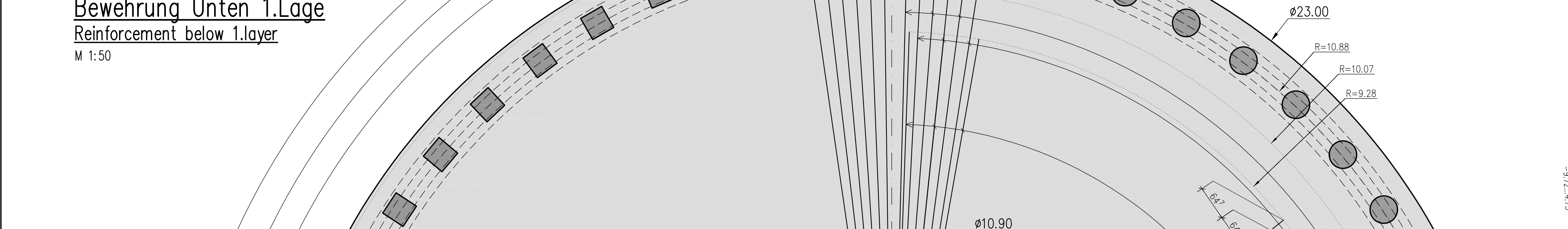
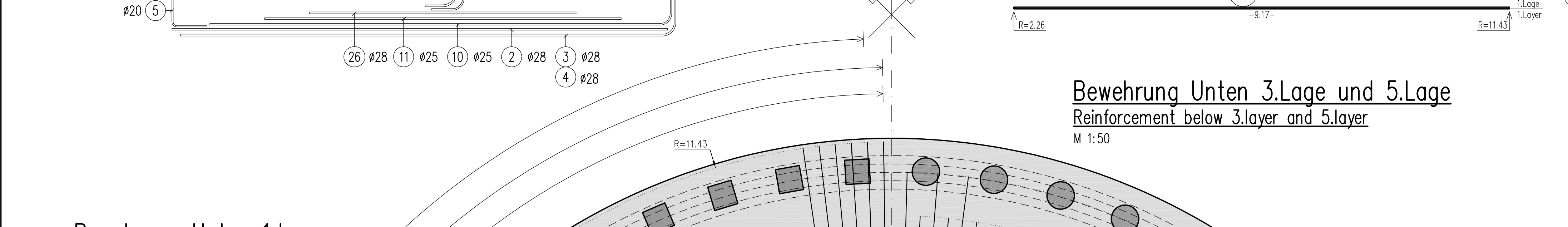
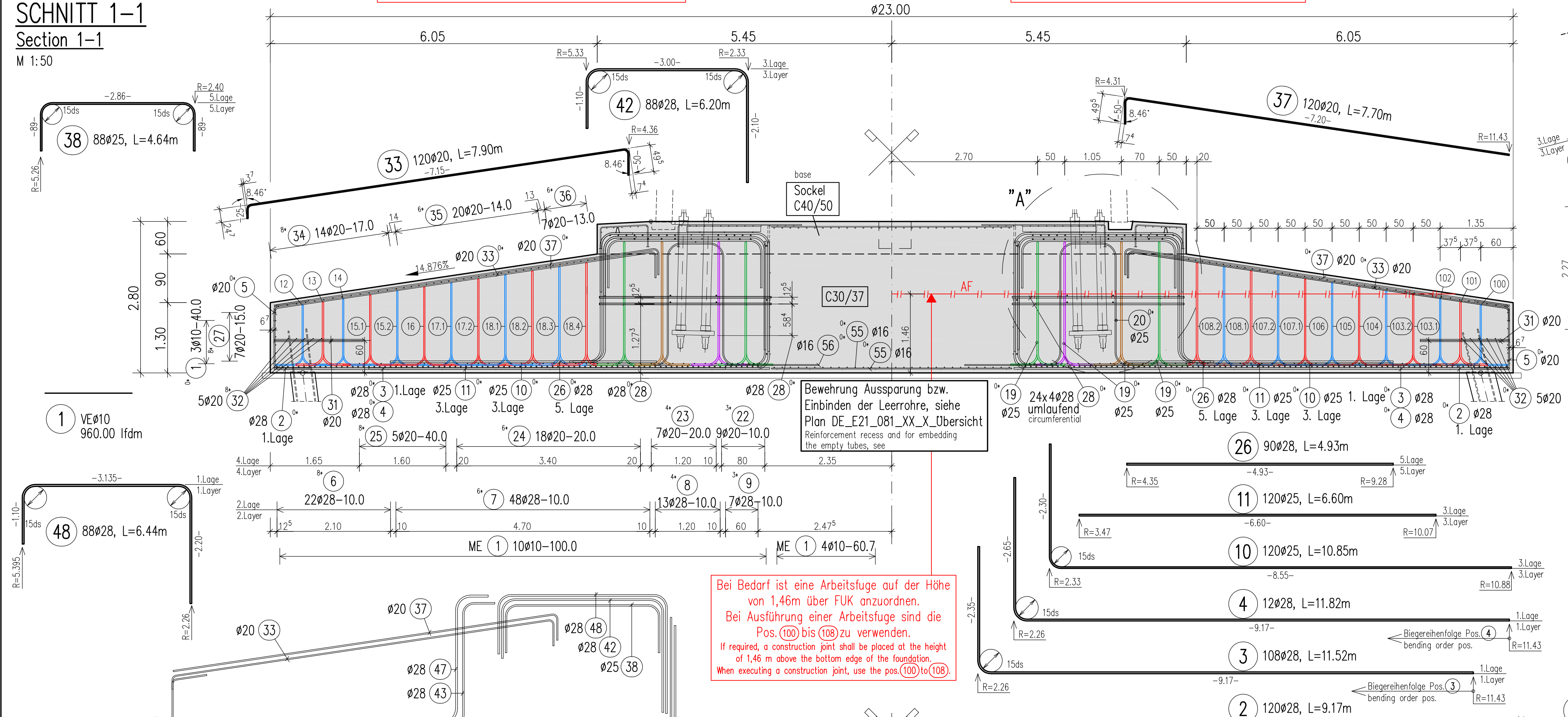
Bauteile: Schalplan Fundament Ø23.00m formwork plan foundation		Maßstab: 1:50
erst.: Ernst	Dat.: 02.09.2021	Boegl-Planbezeichnung

gepr.: v. Wesen	Dat.: 02.09.2021	Land	lurmtyp	Ringtyp	Segment	besonderheit	Planart	Index
freig.: Betz	Dat.: 02.09.2021	DE	E21	305	XX	X	Schalplan	e
ENERCON-Planbezeichnung		D02456047-5						

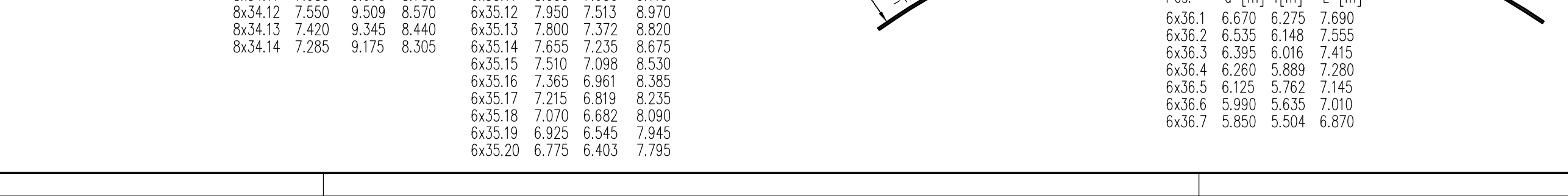
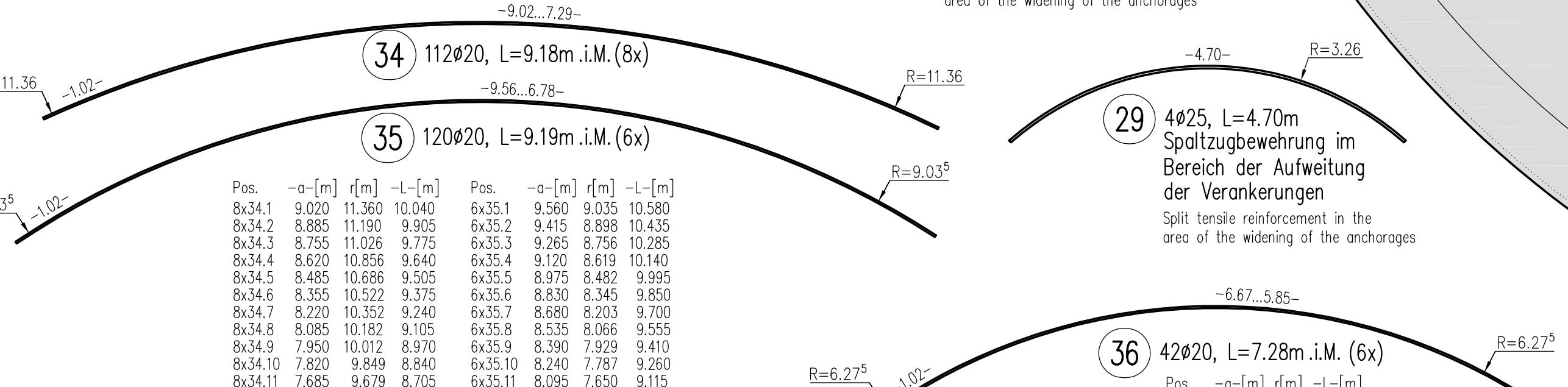
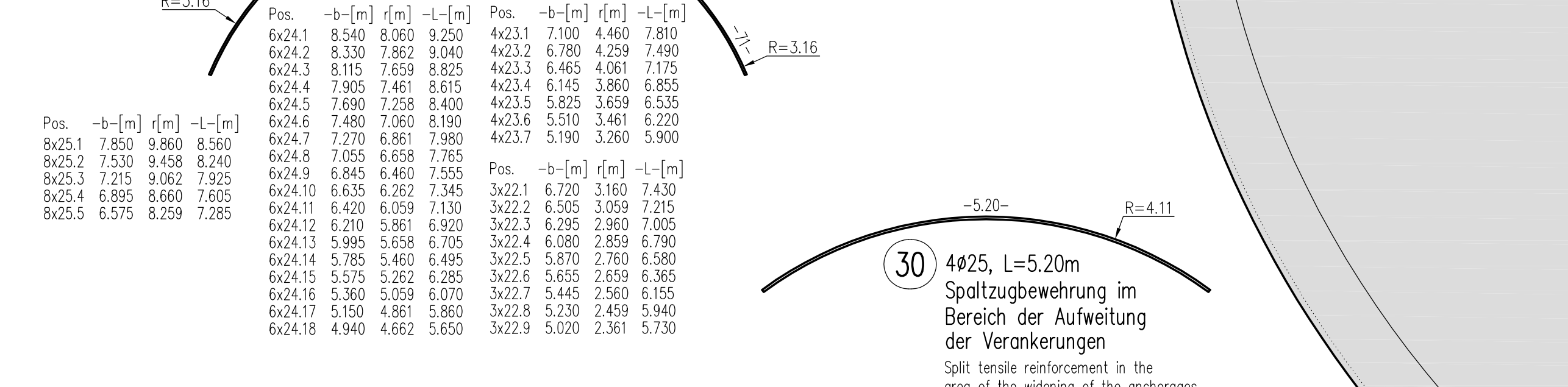
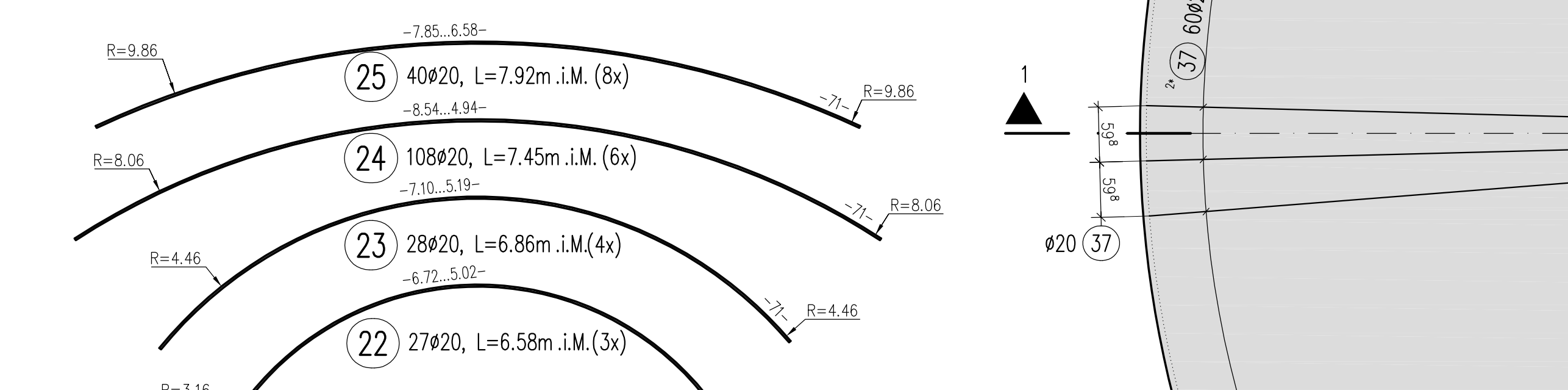
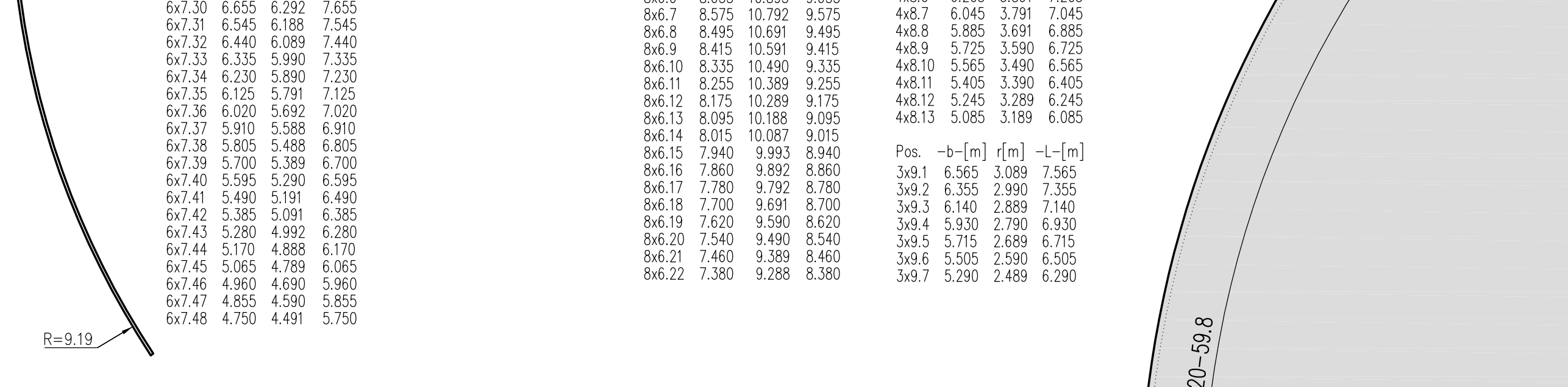
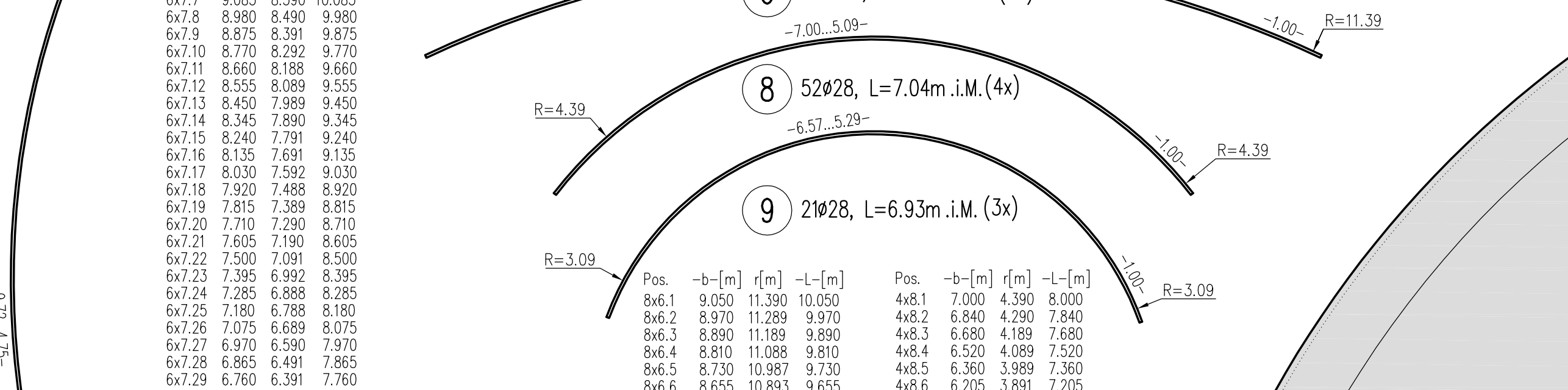
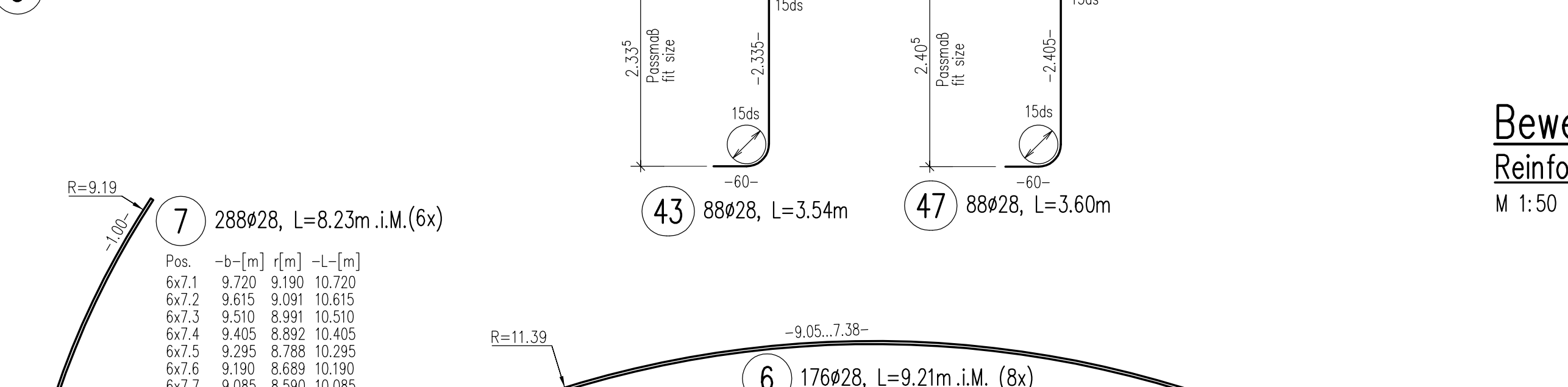
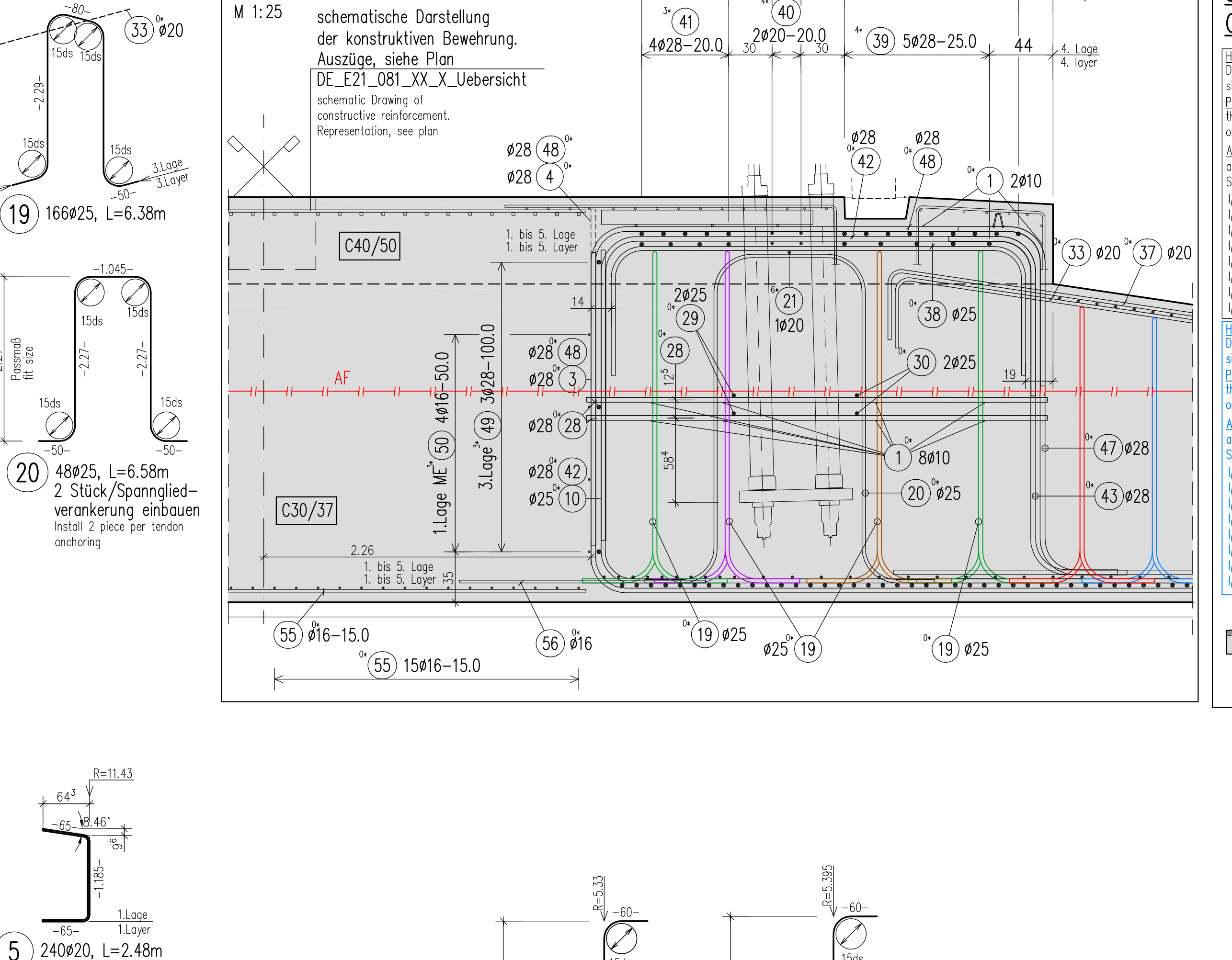
Hiermit bestätige ich, dass ich die oben genannten Daten aus dem Dokument "Enercon-Planbezeichnung" entnommen habe und diese für meine Zwecke verwenden darf. Ich bin bewusst, dass die Weitergabe dieser Daten an Dritte ohne meine Genehmigung untersagt ist.

Soficod-Dateiname: DE\_E21\_305\_XX\_X\_Schalplan

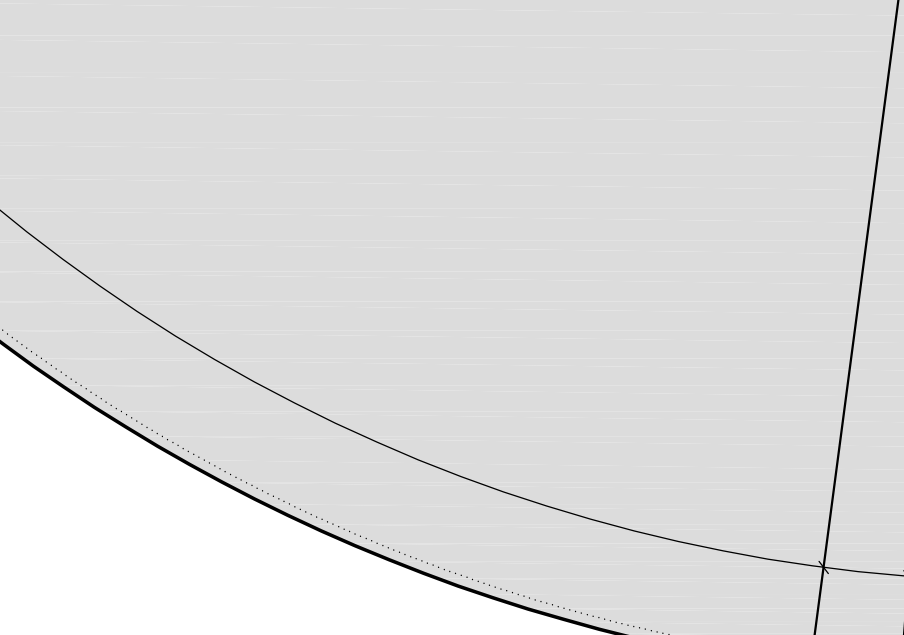
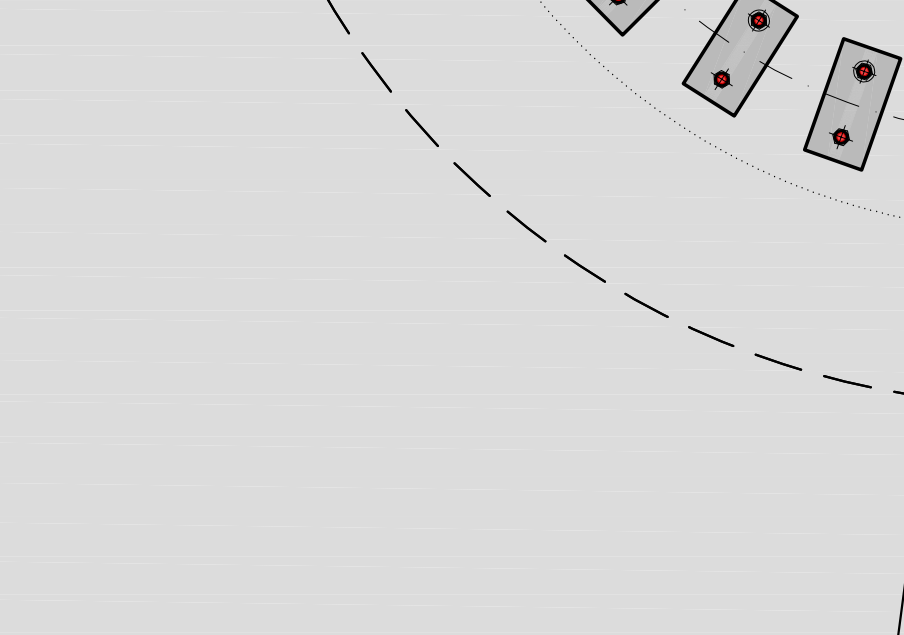
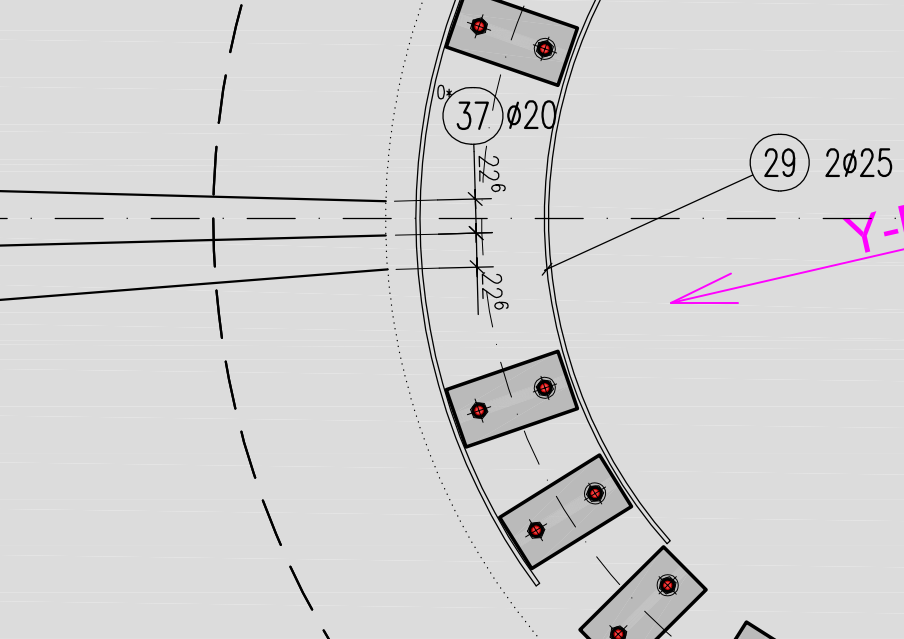
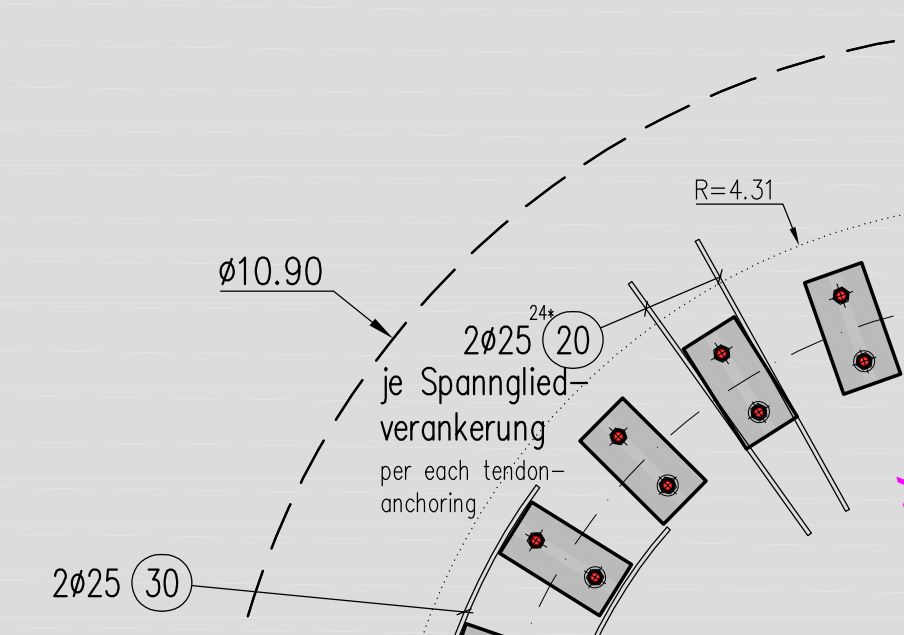
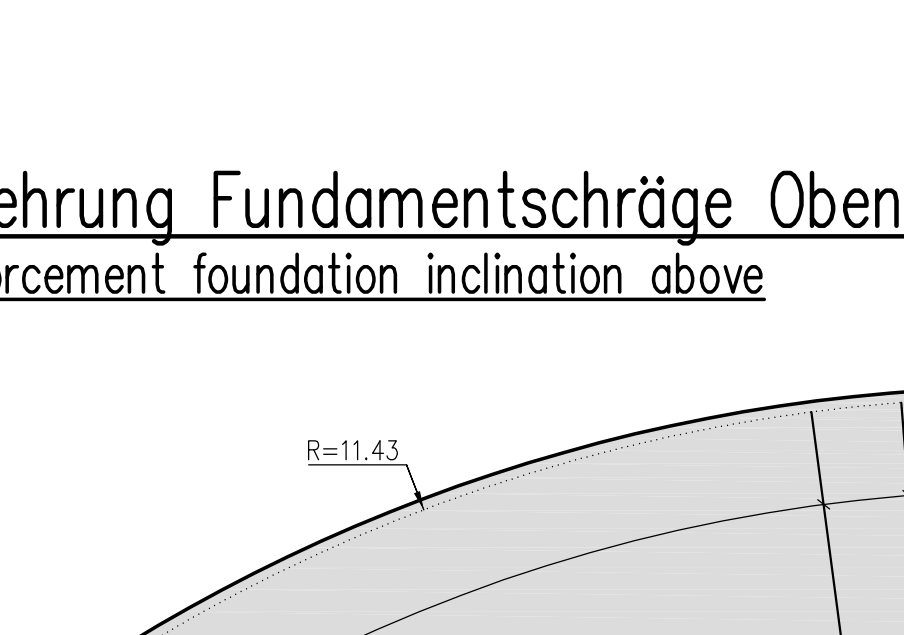
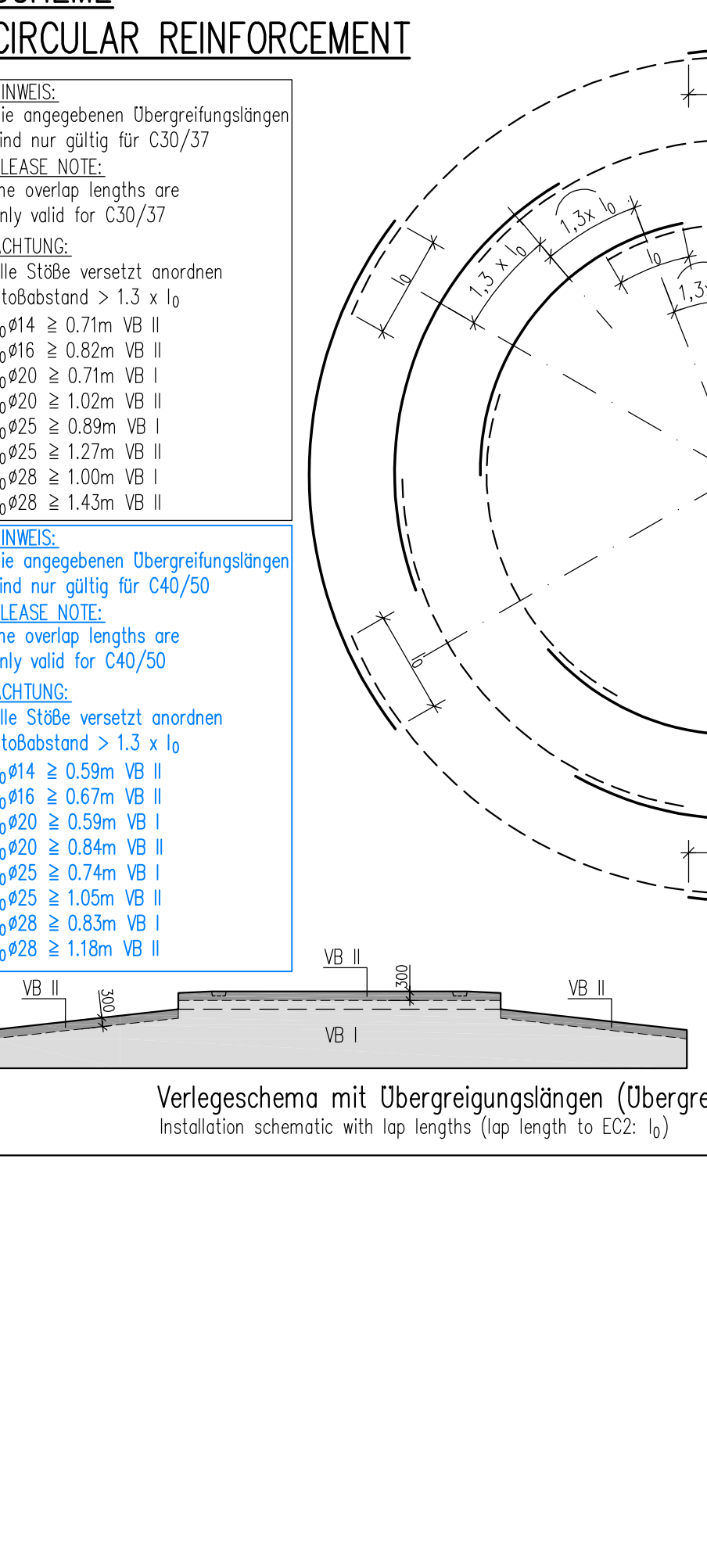
SCHNITT 1-1  
Section 1-1  
M 1:50



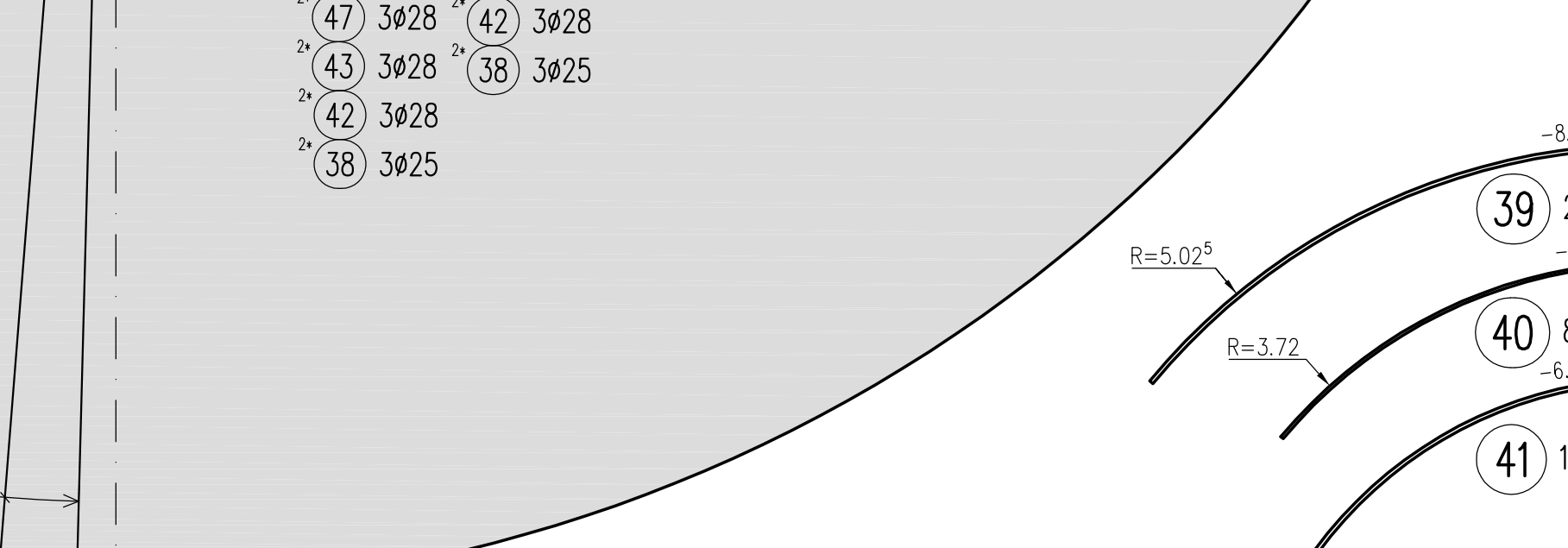
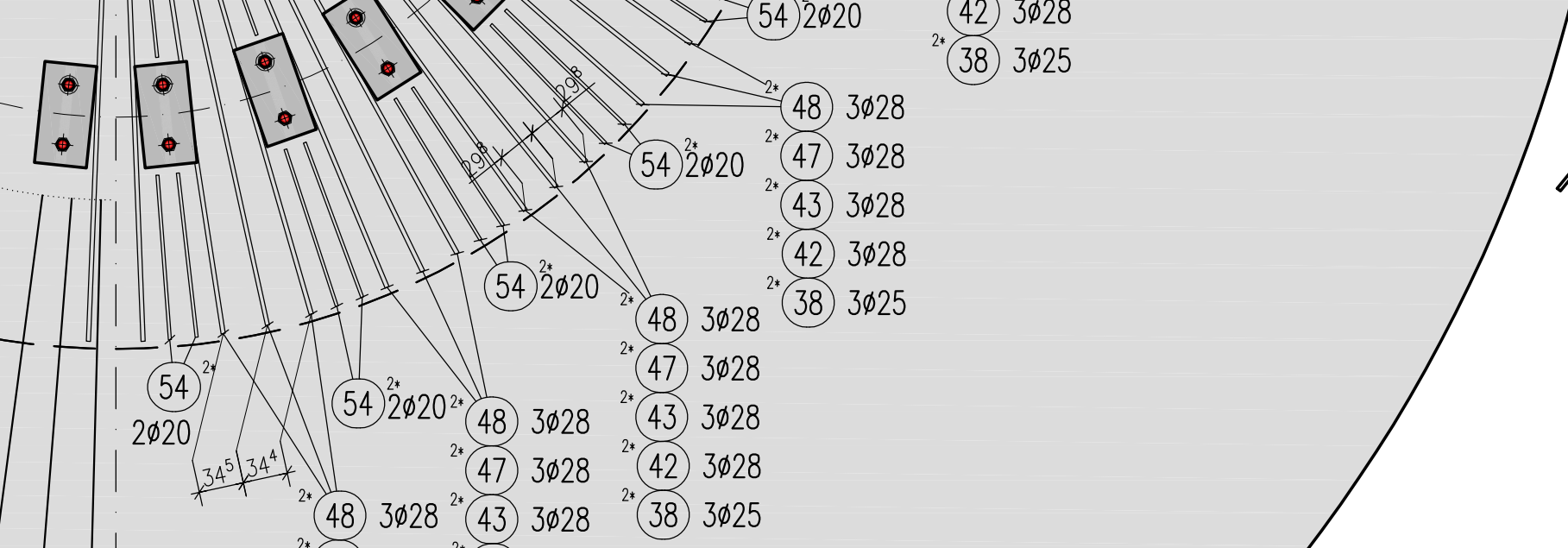
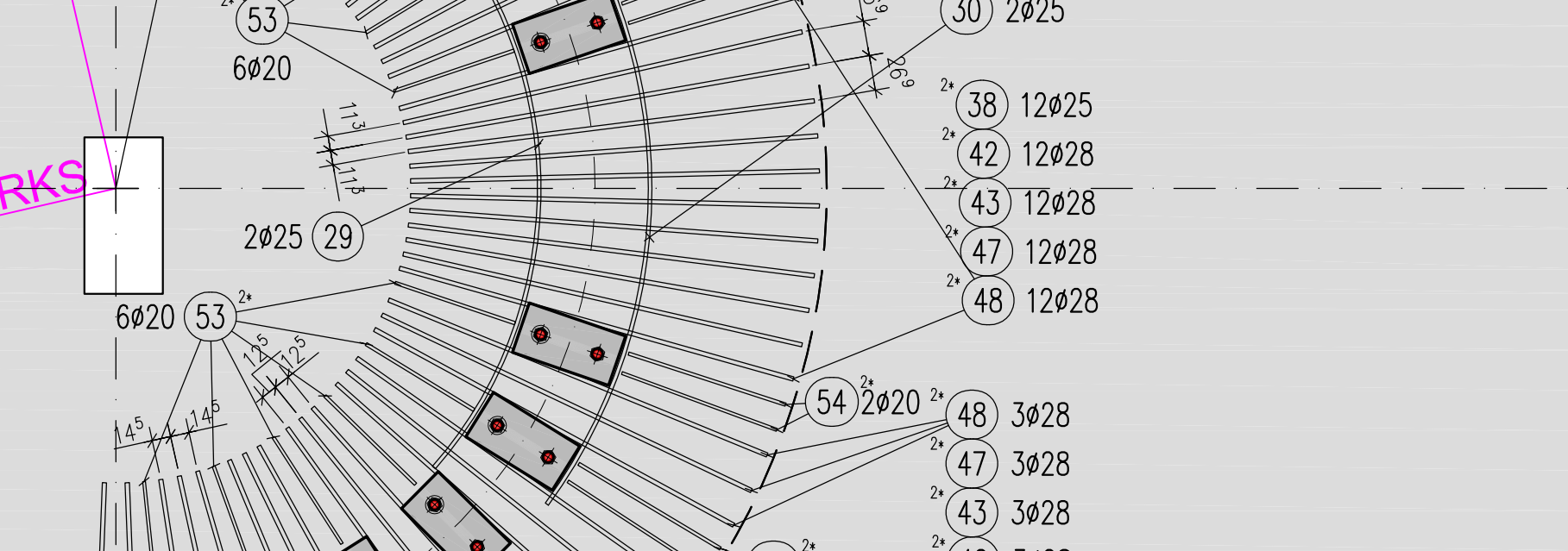
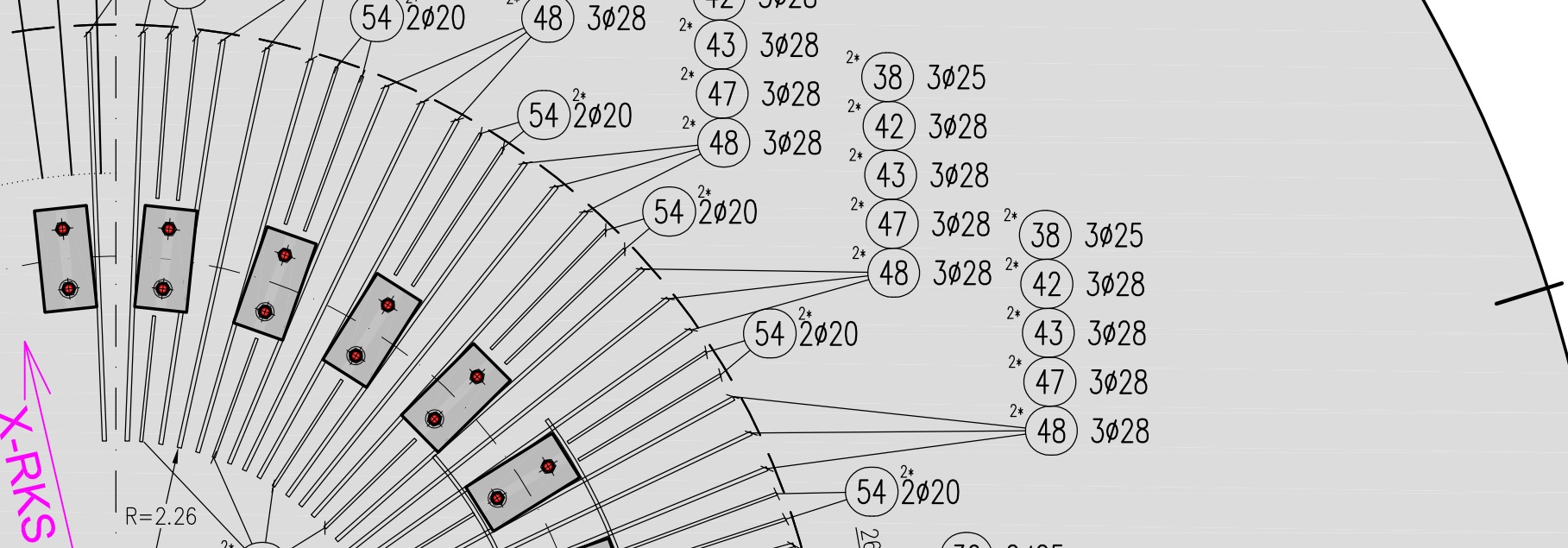
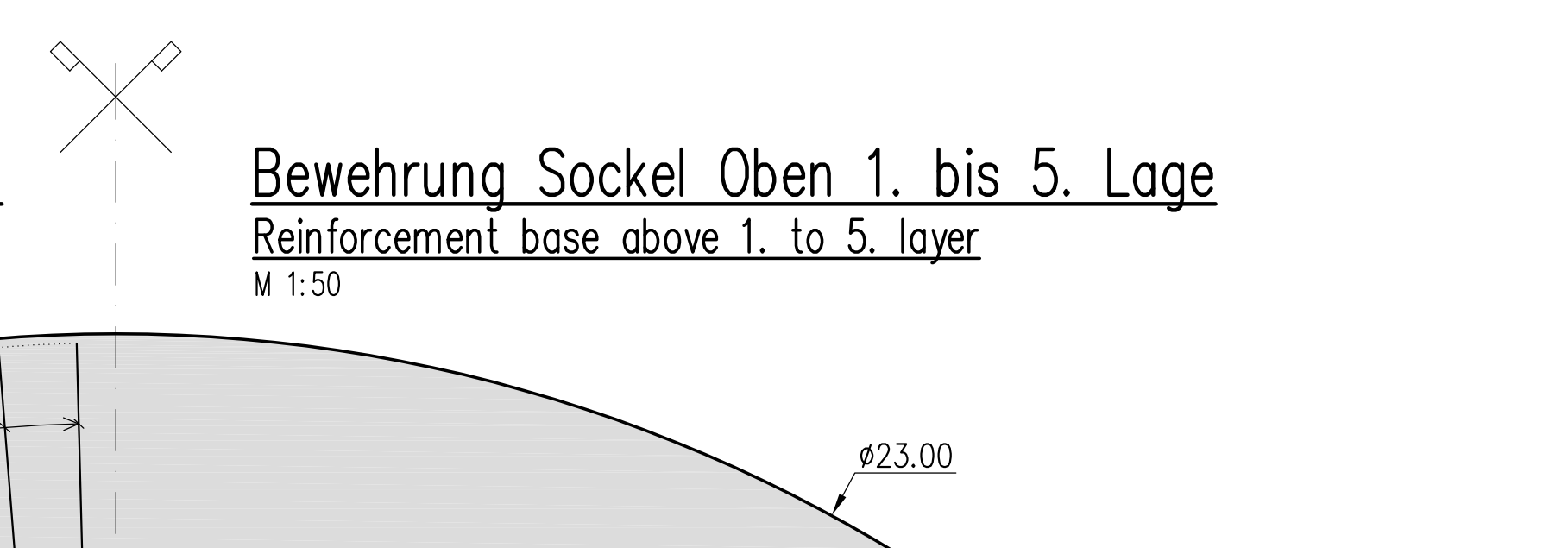
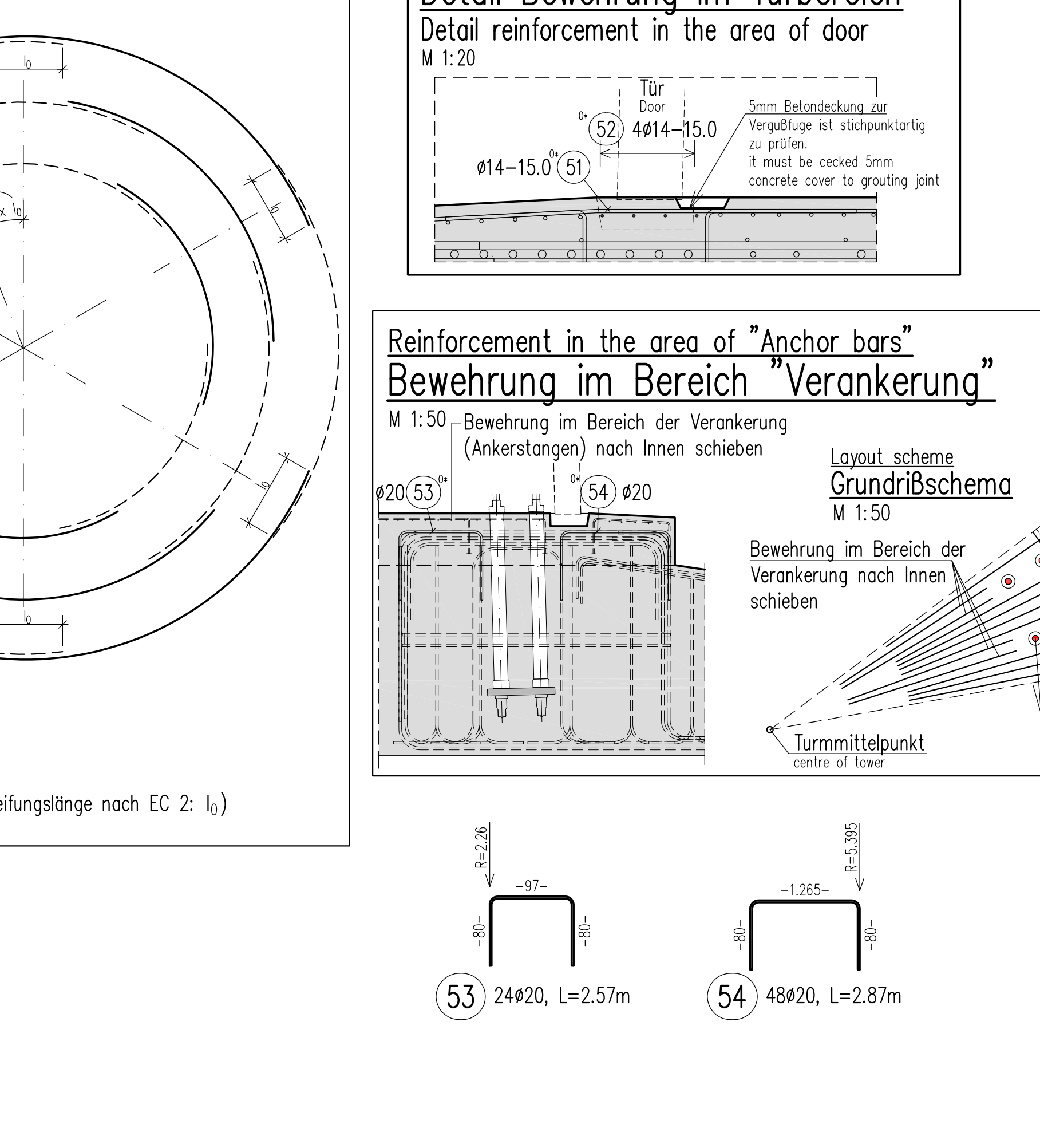
DETAIL "A"  
DETAIL "A"  
M 1:25



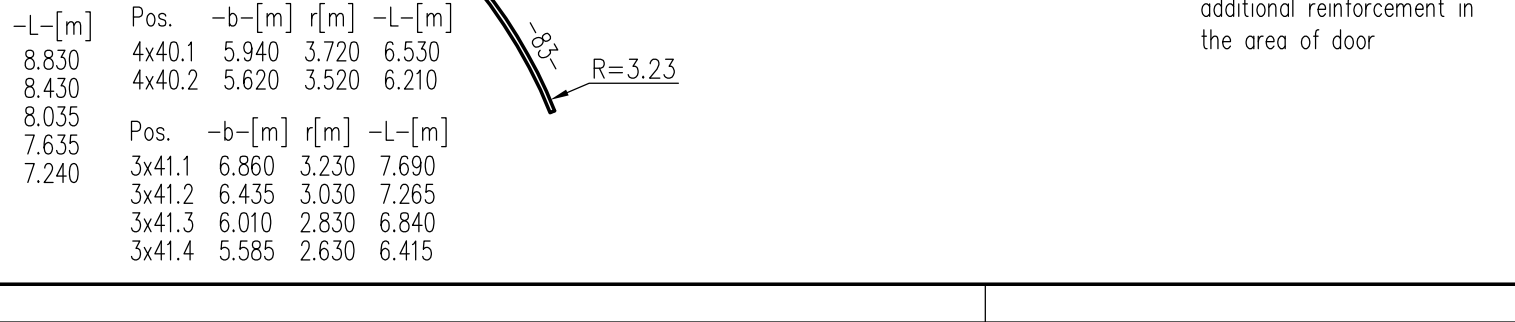
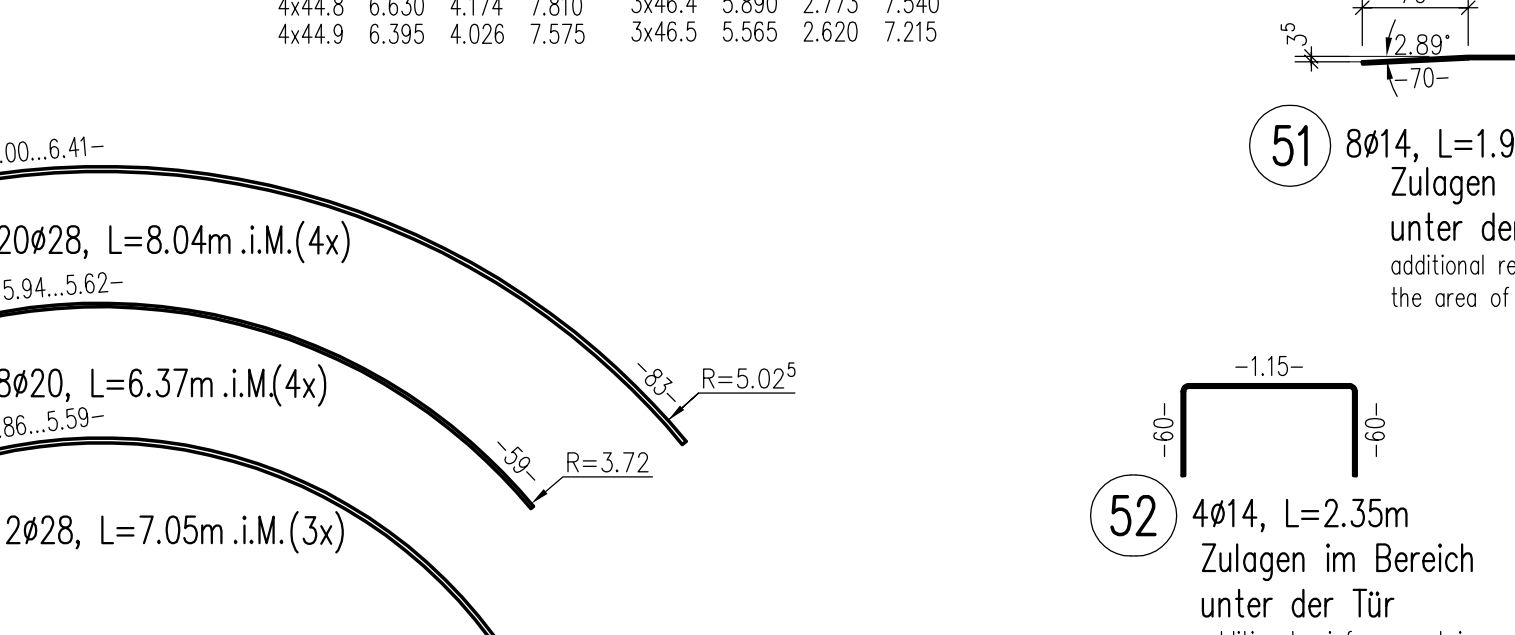
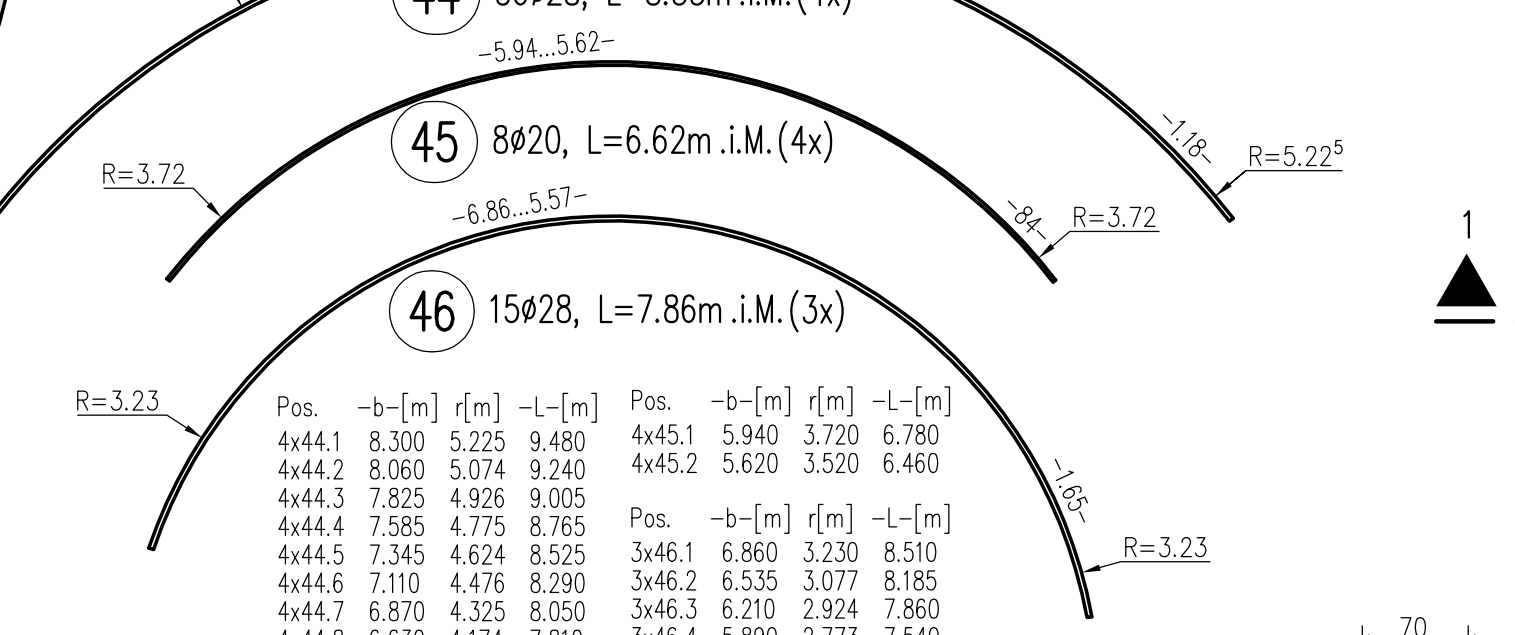
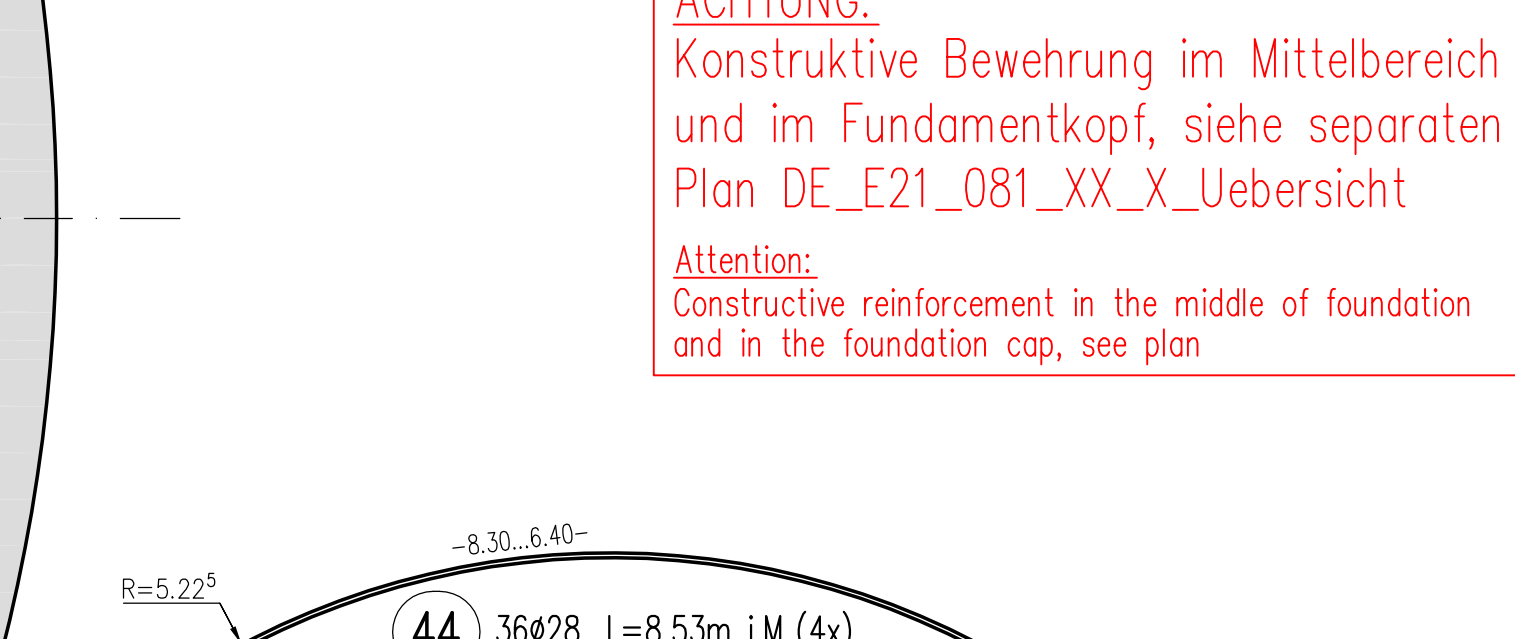
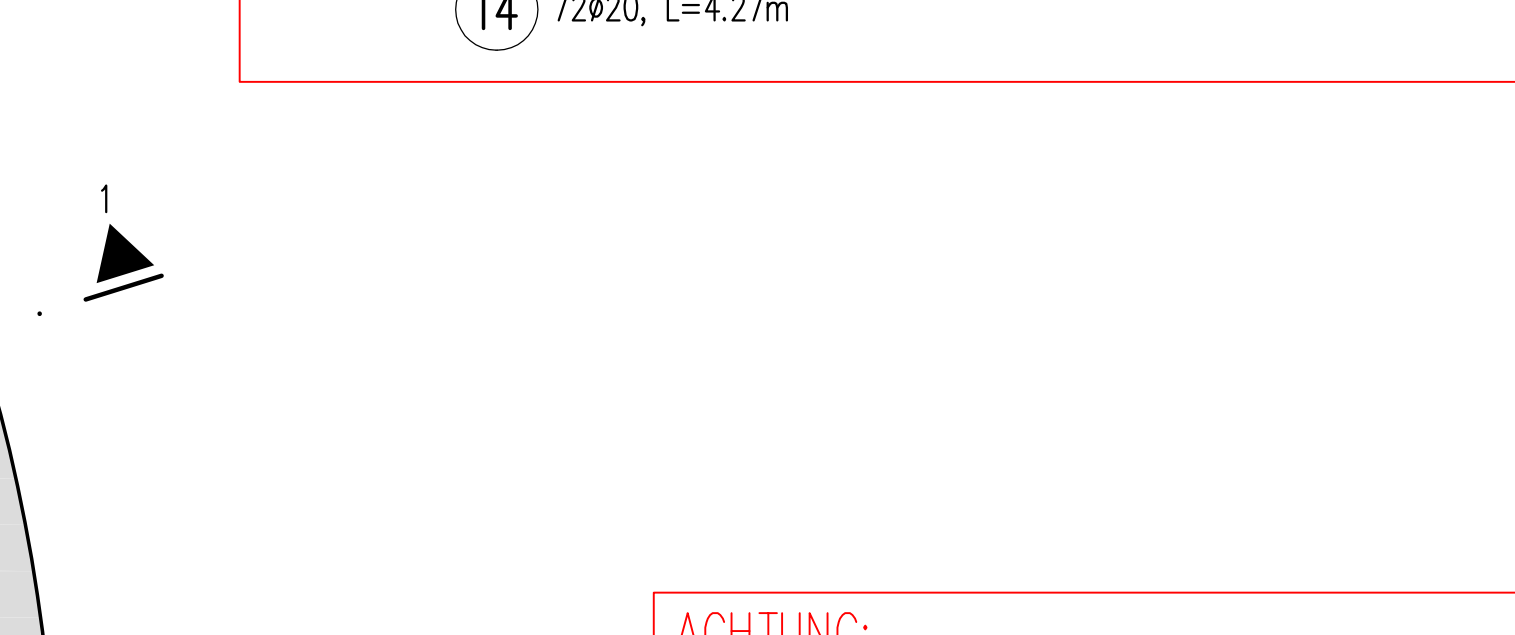
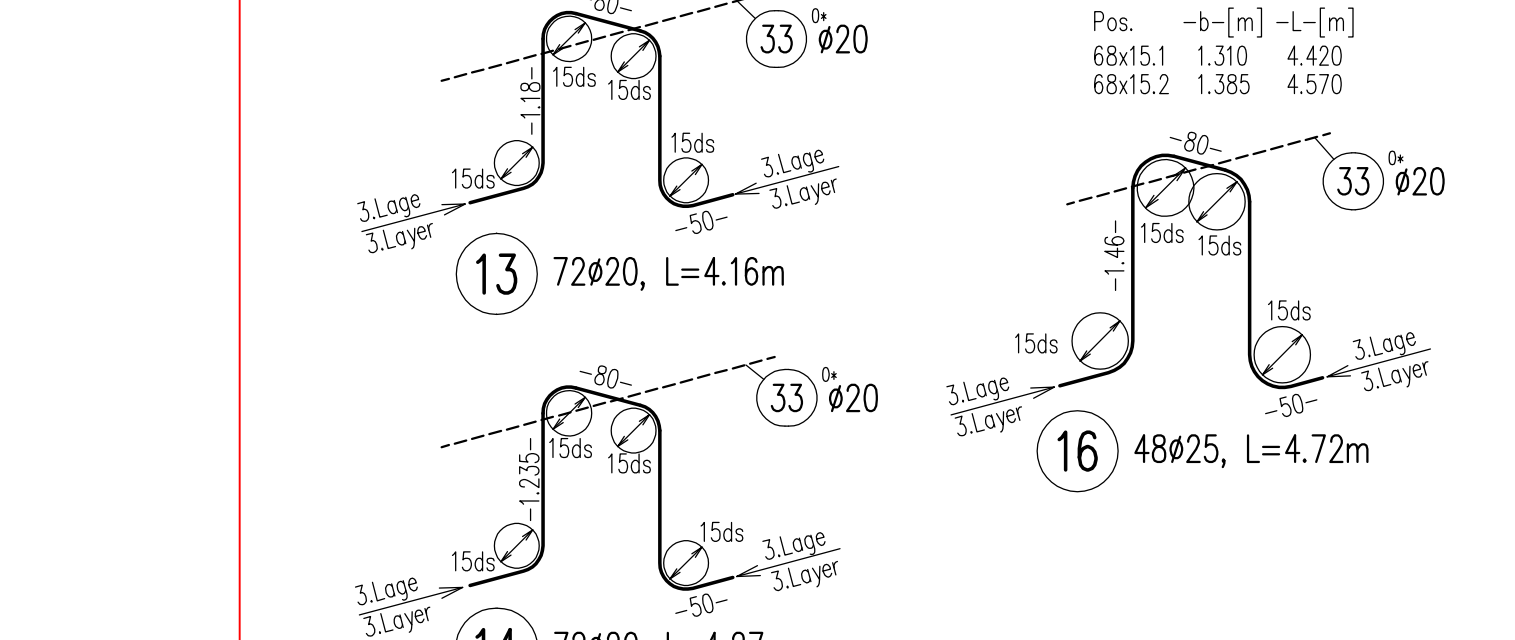
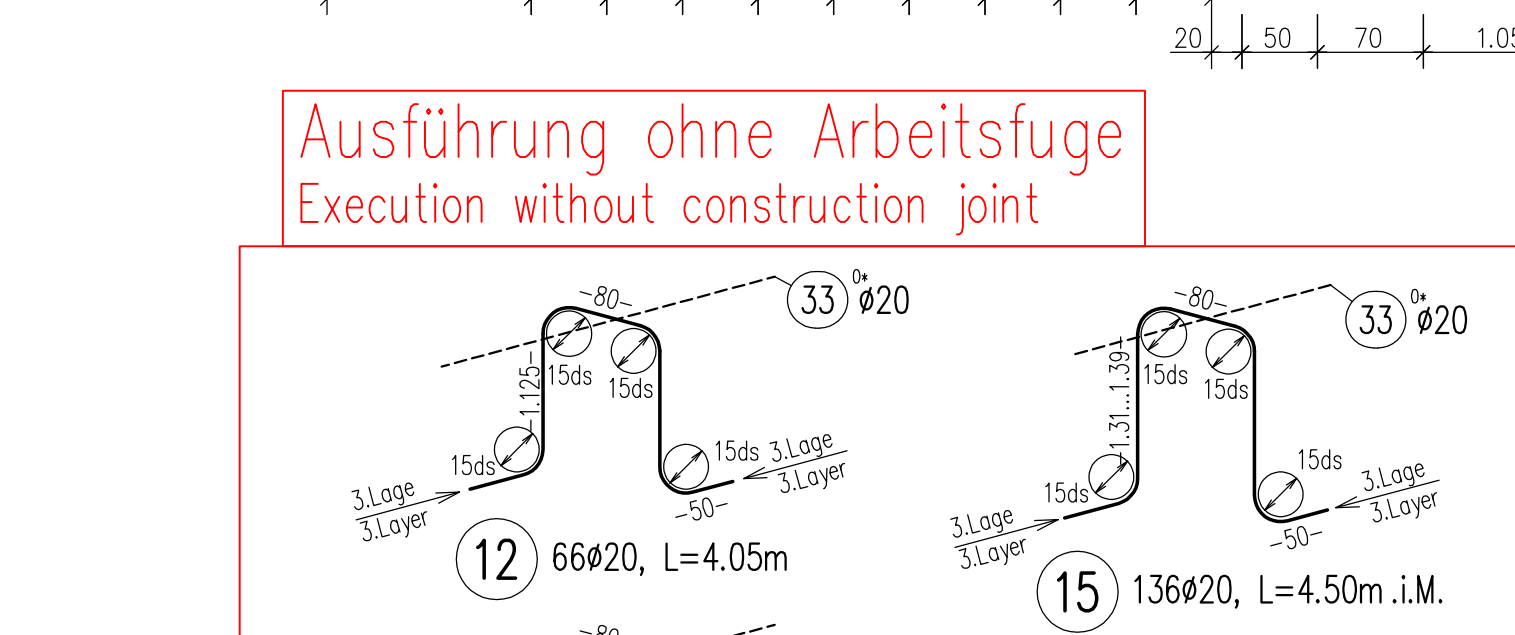
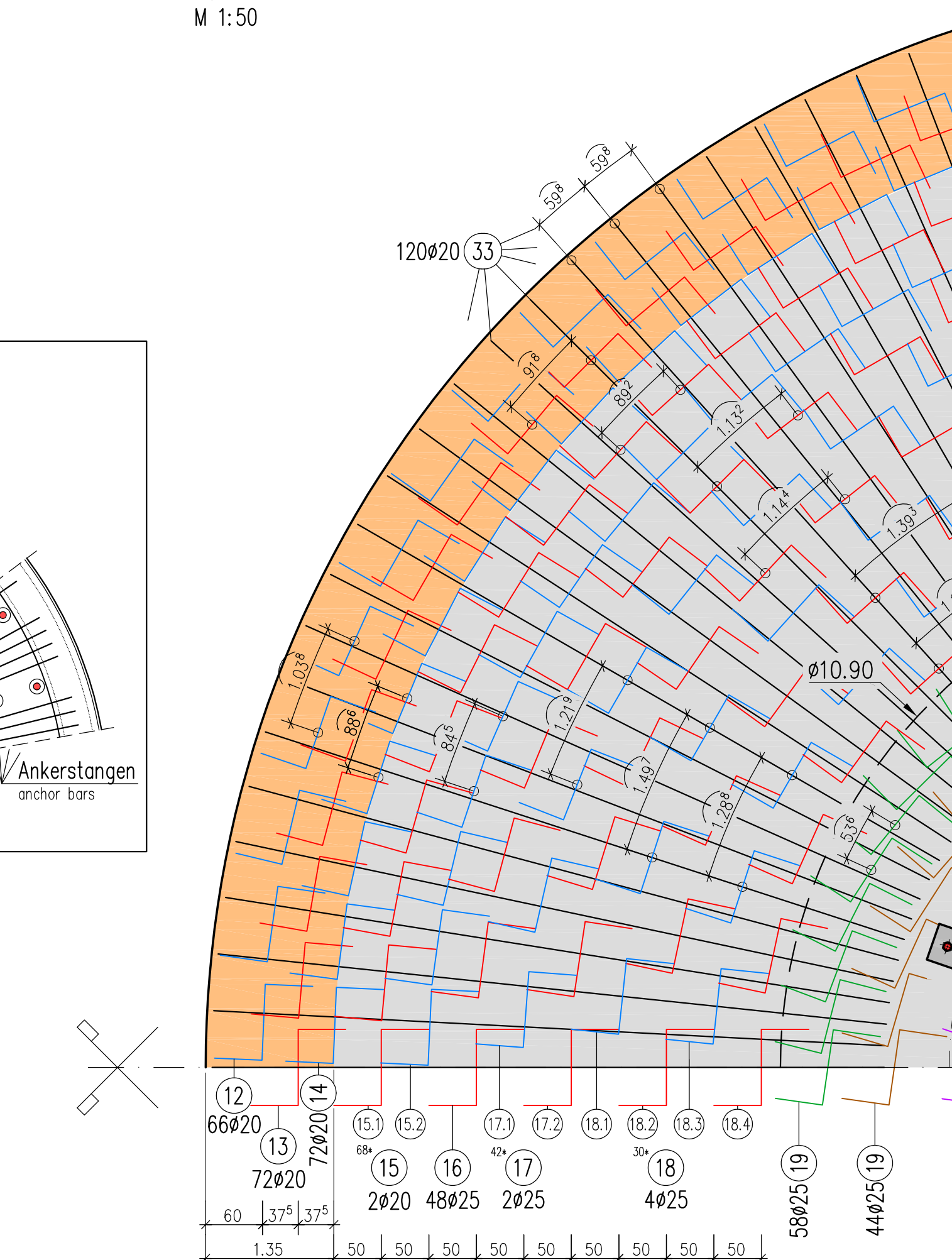
SCHEMA KREISBEWEHRUNG  
SCHEMA  
CIRCULAR REINFORCEMENT  
M 1:50



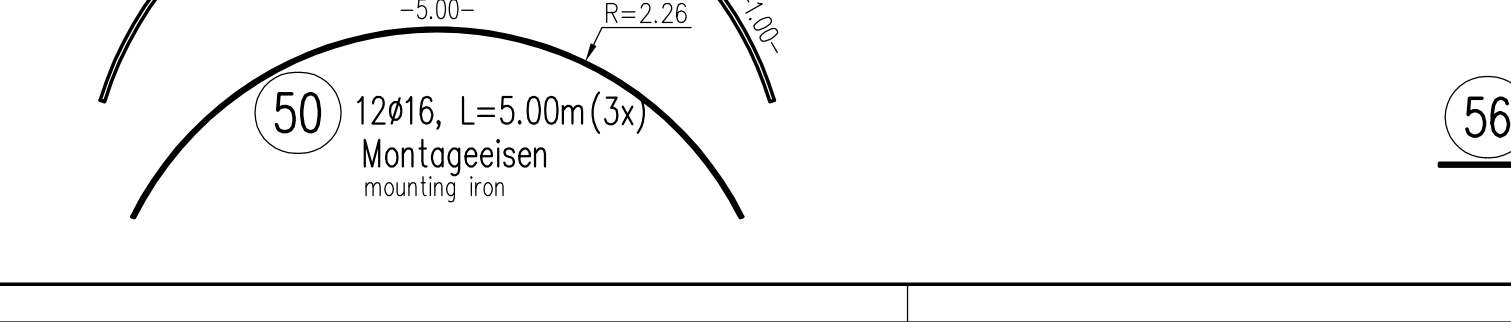
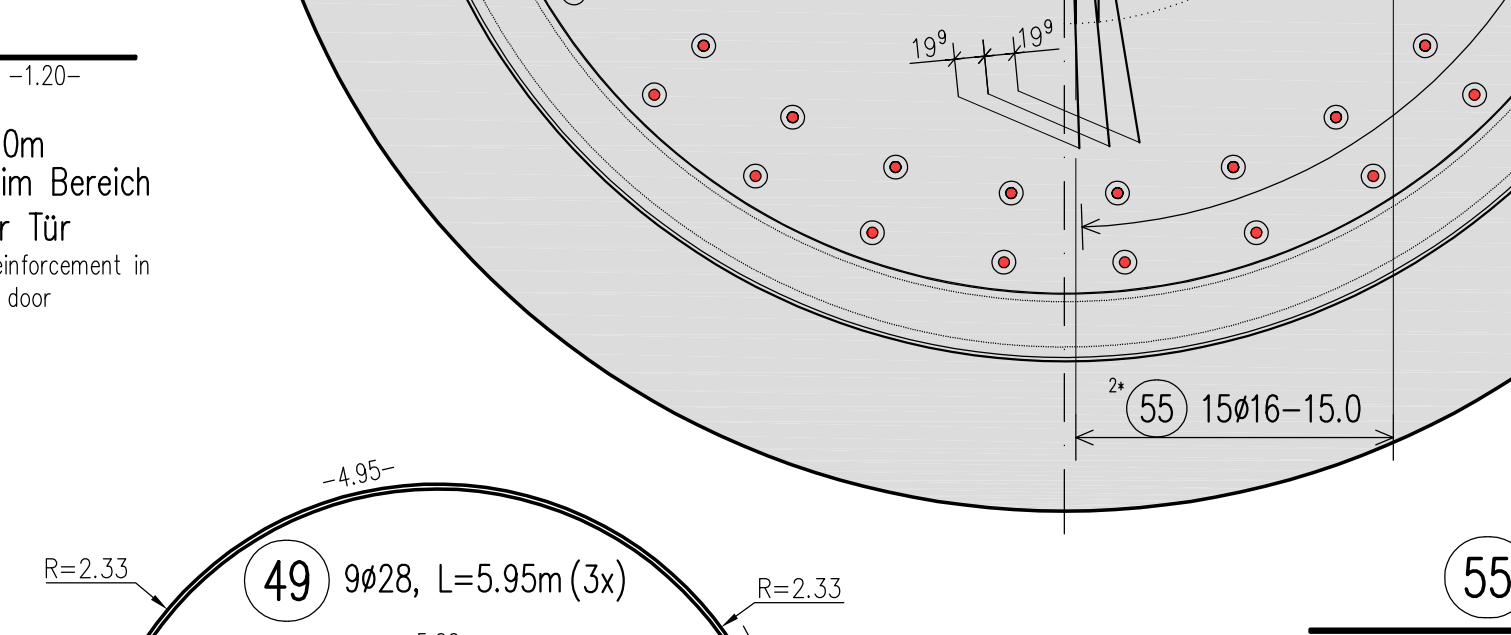
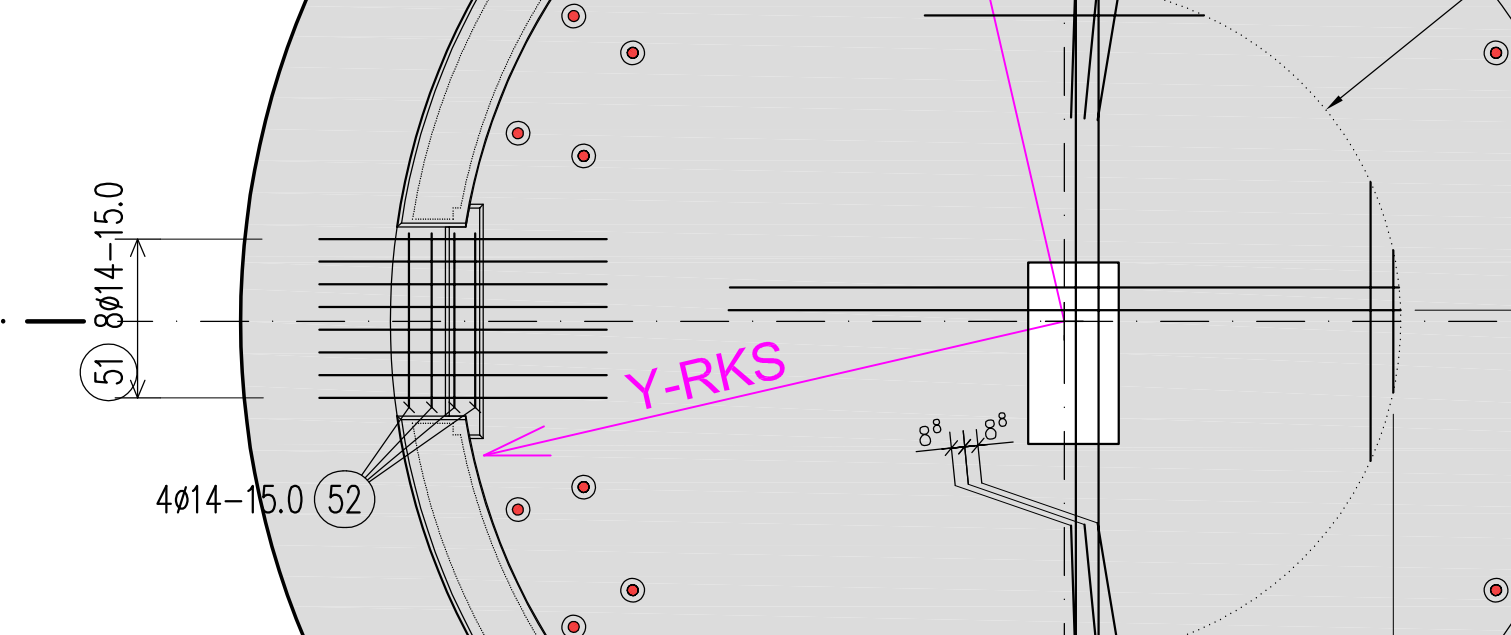
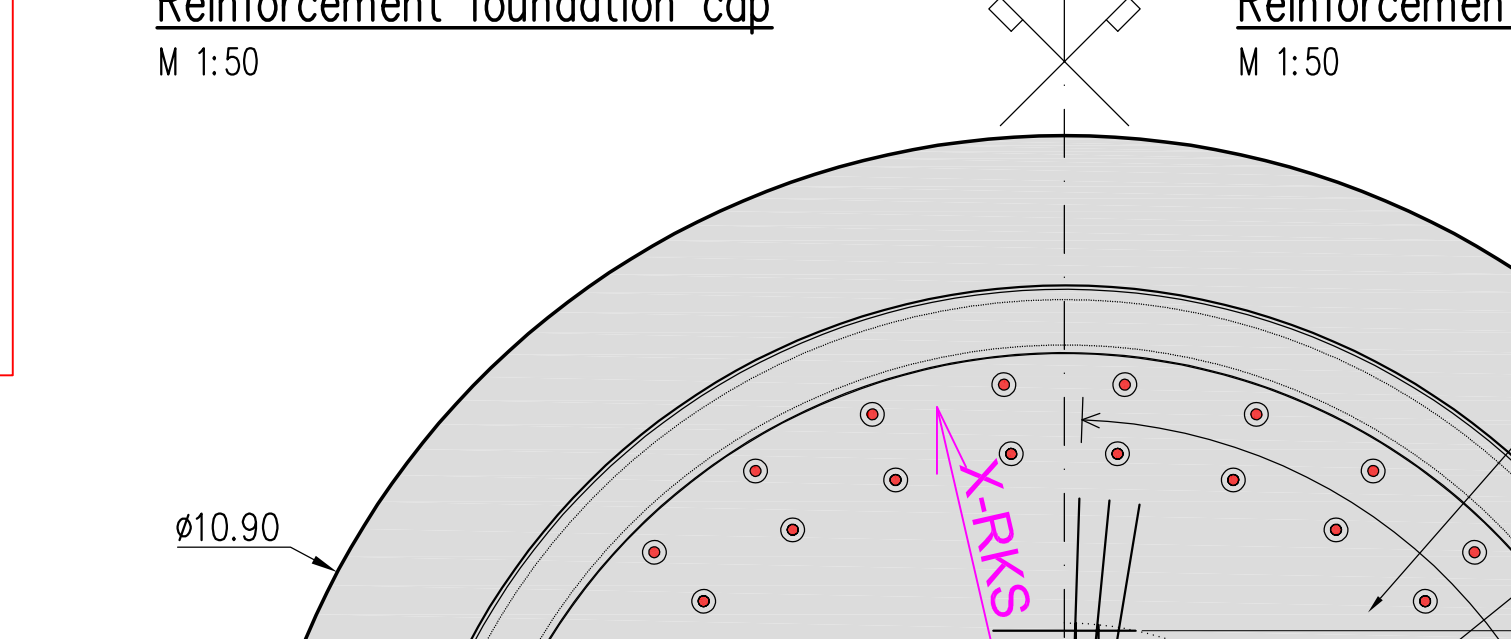
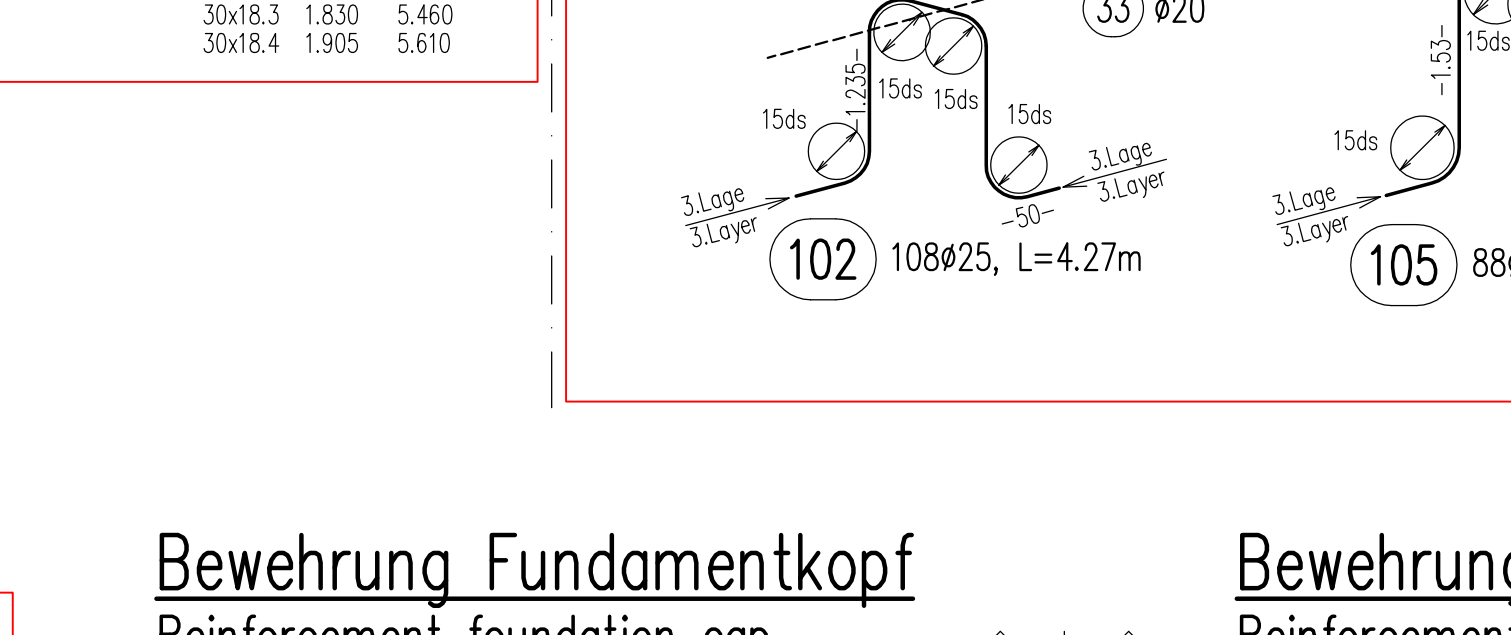
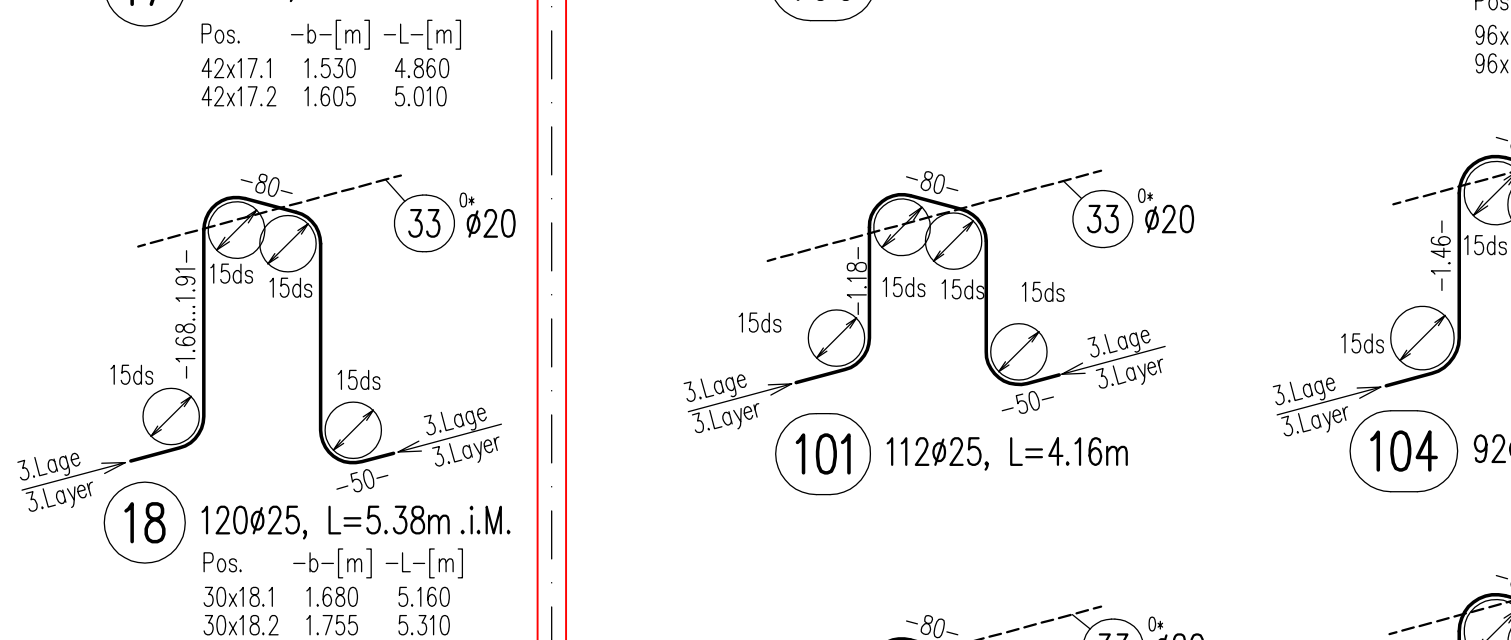
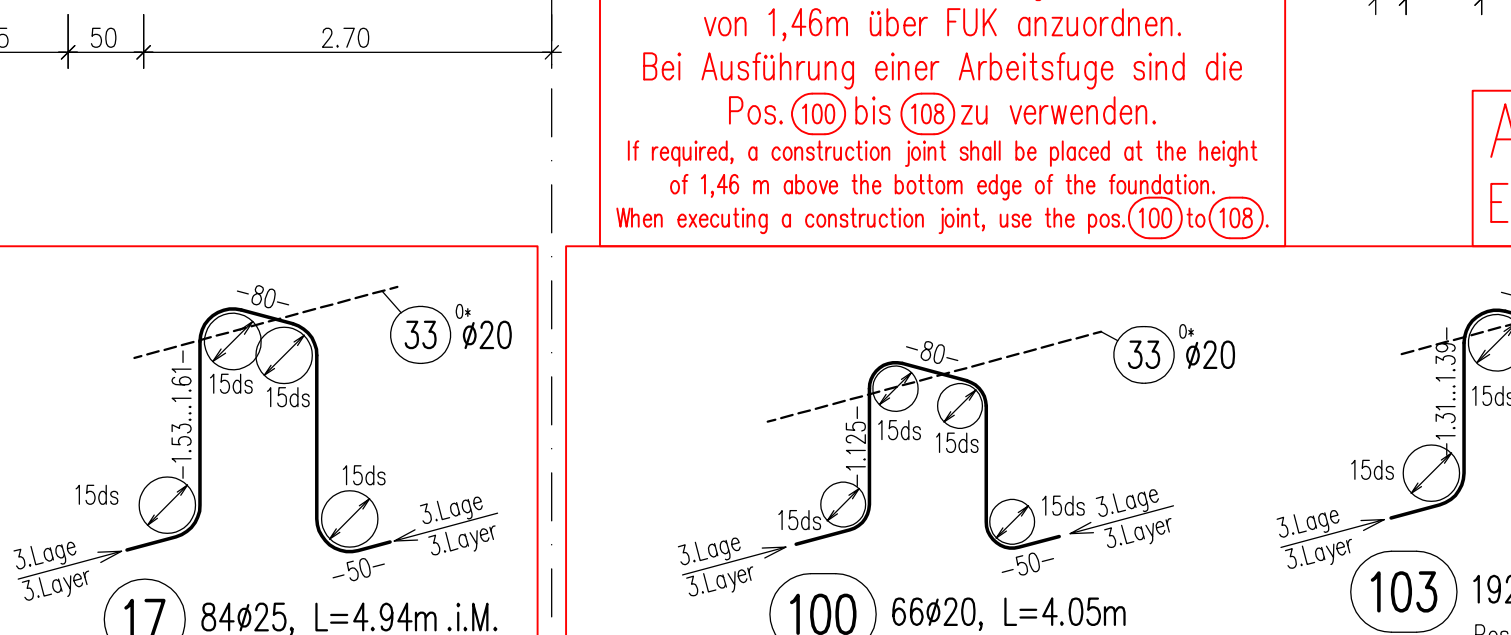
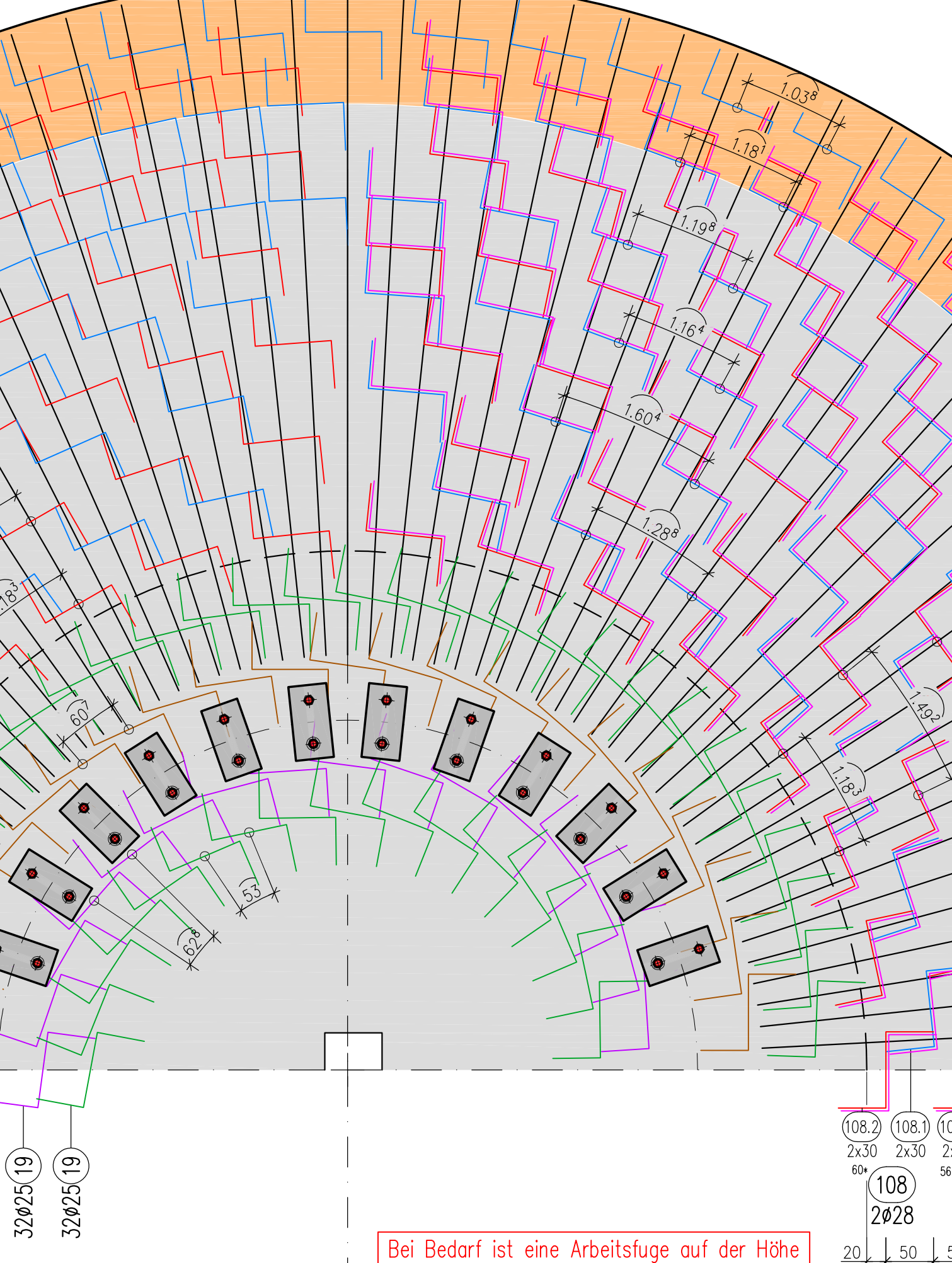
Detail Bewehrung im Türbereich  
Detail reinforcement in the area of door  
M 1:20



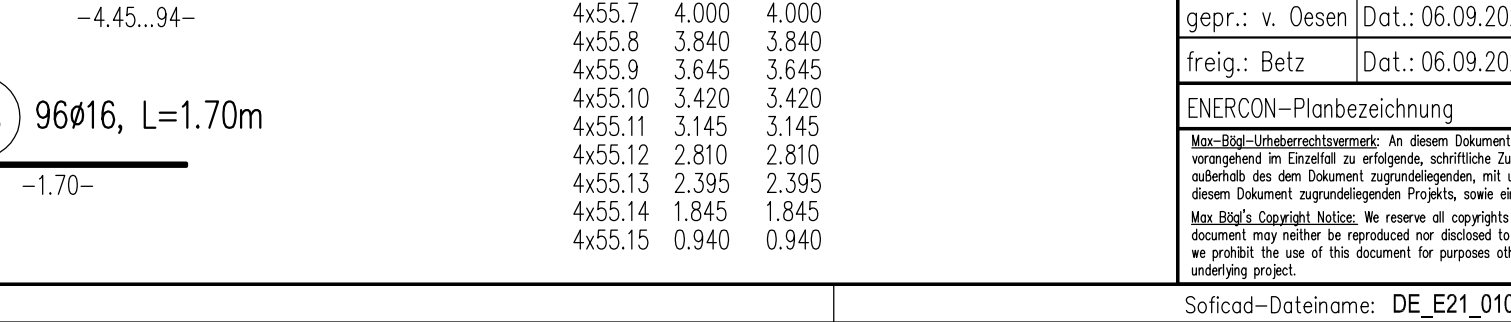
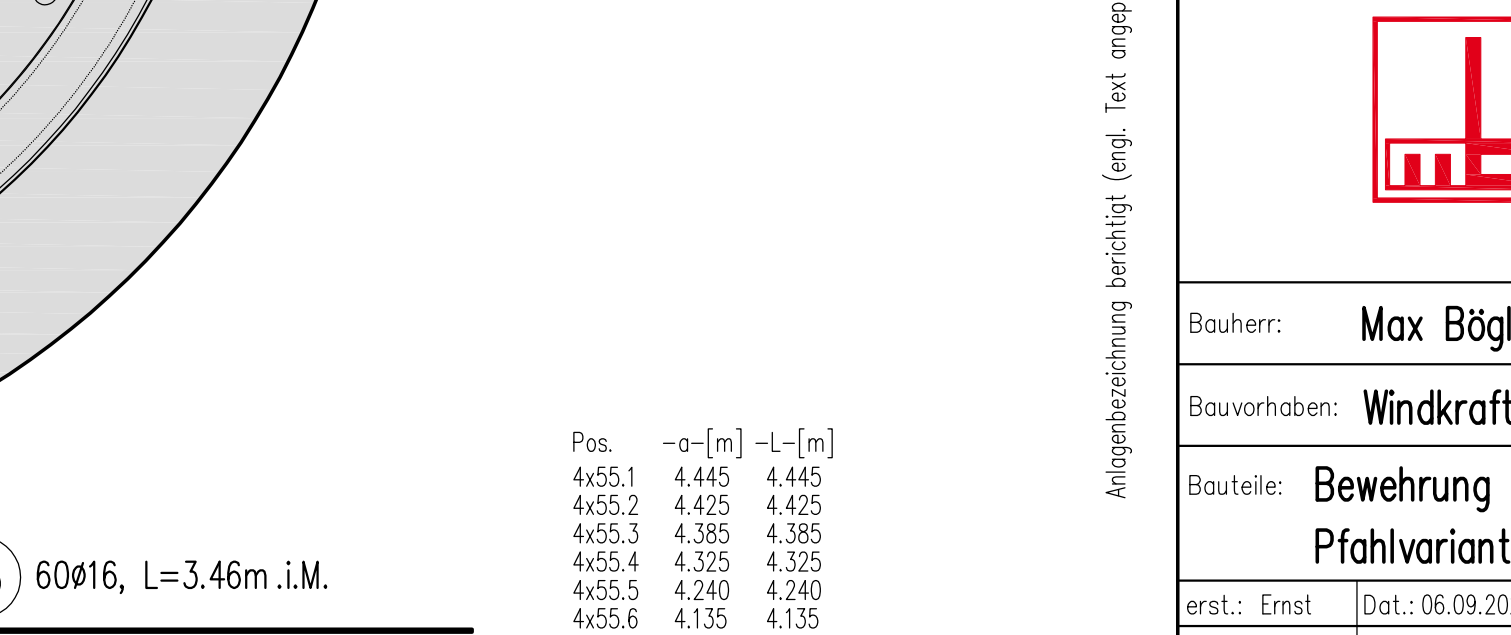
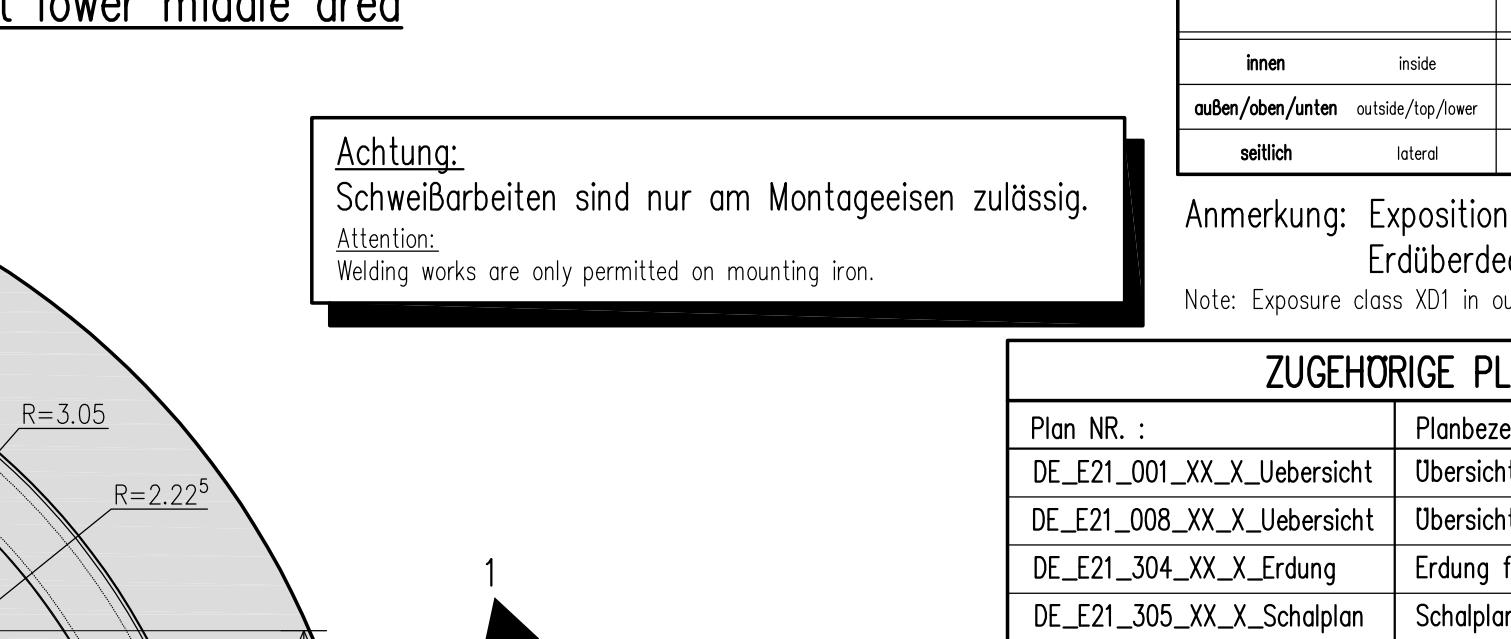
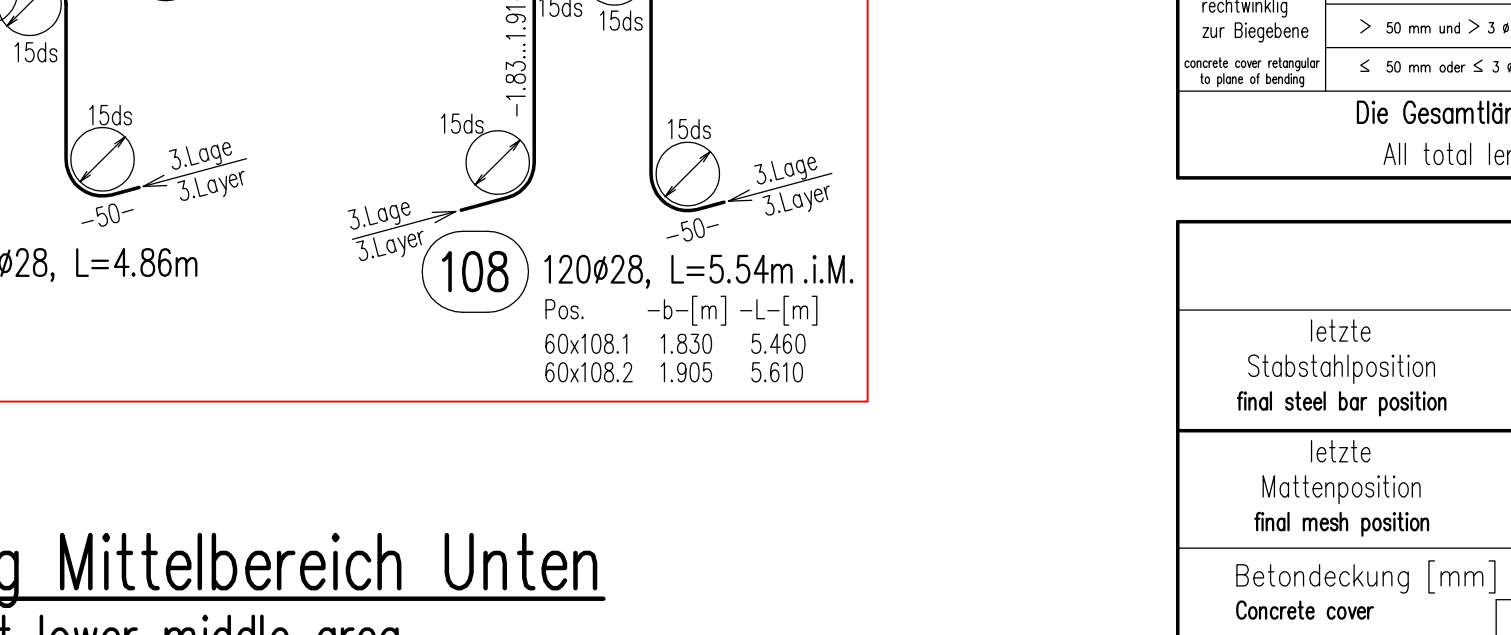
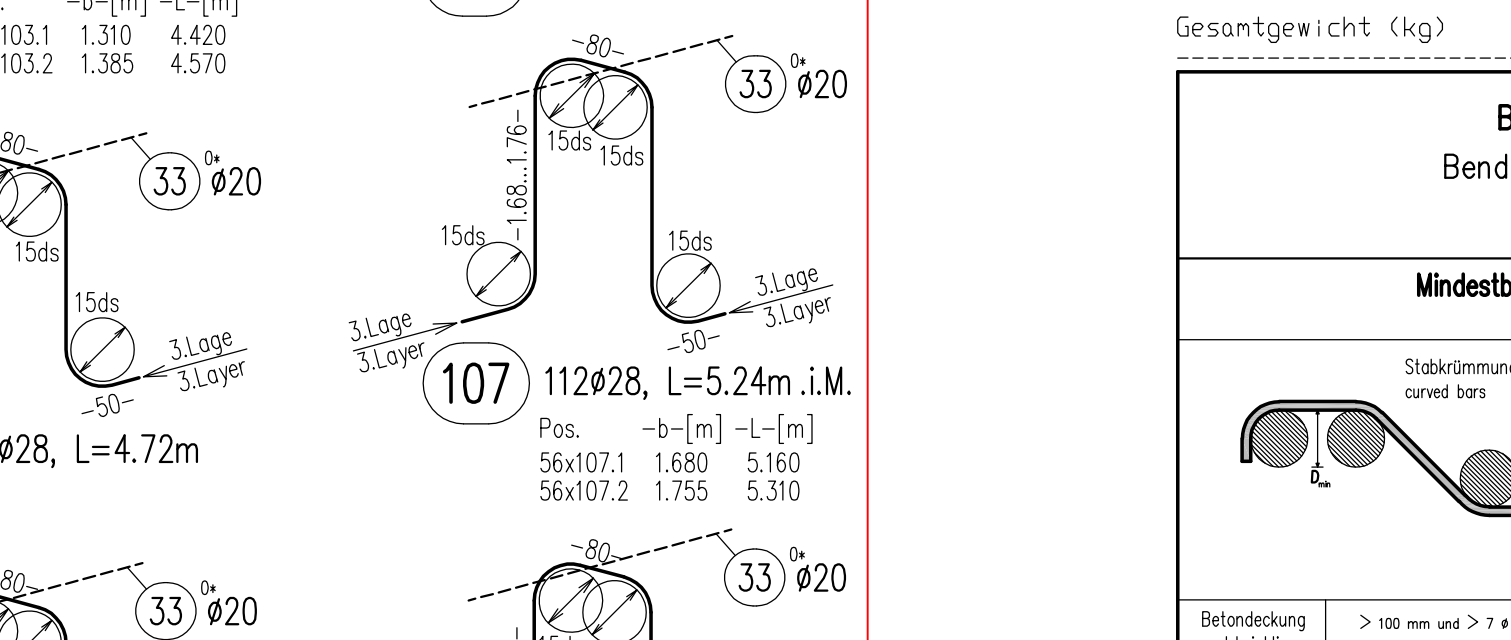
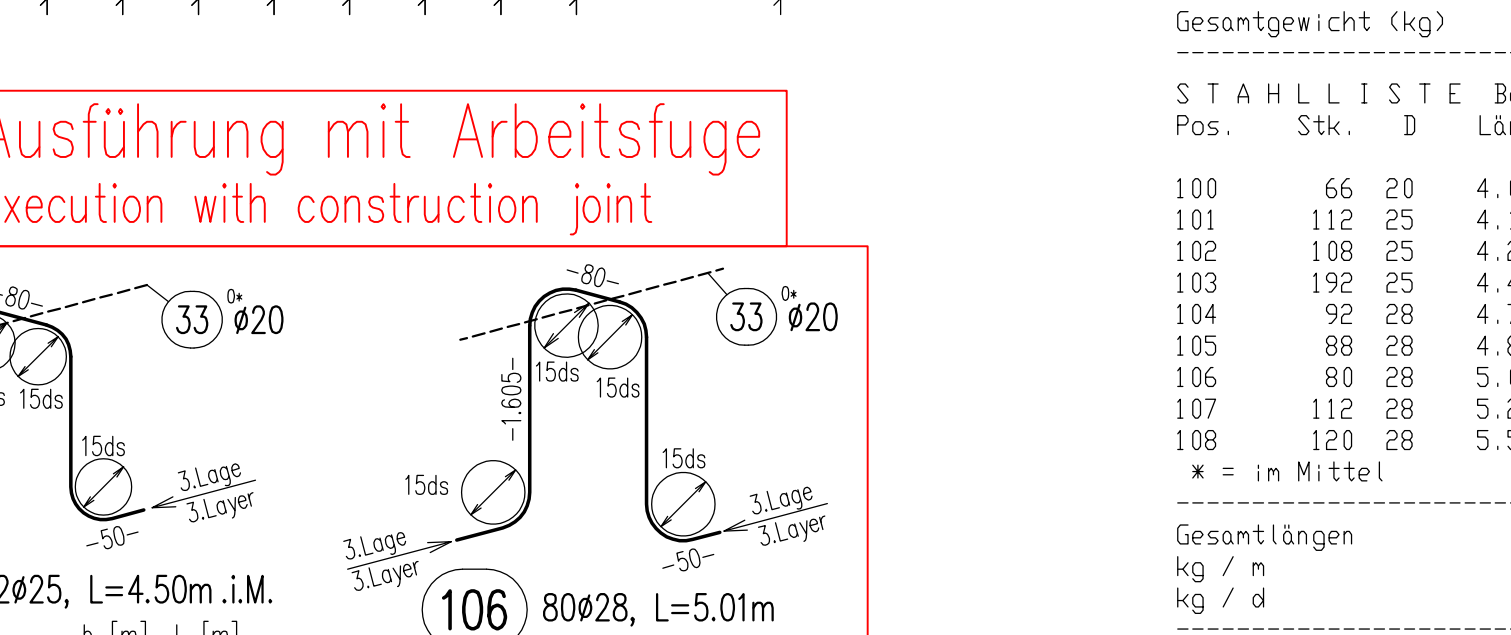
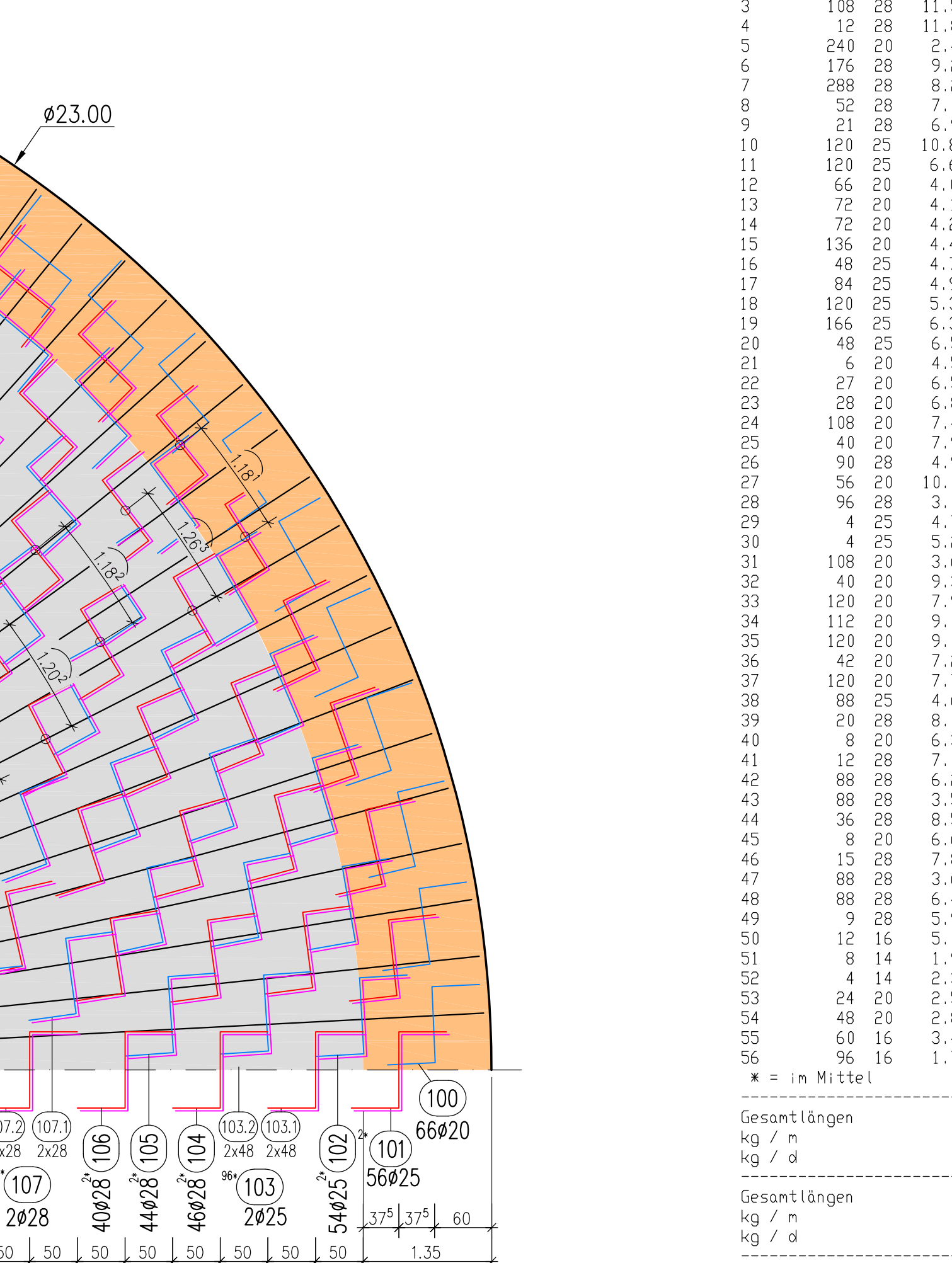
Reinforcement in the area of "Anchor bars"  
Bewehrung im Bereich "Verankerung"  
M 1:50



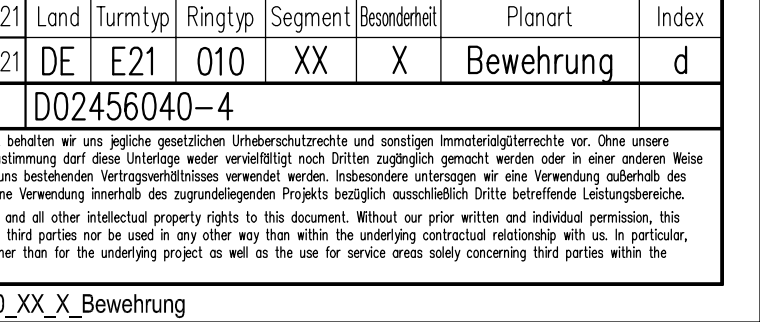
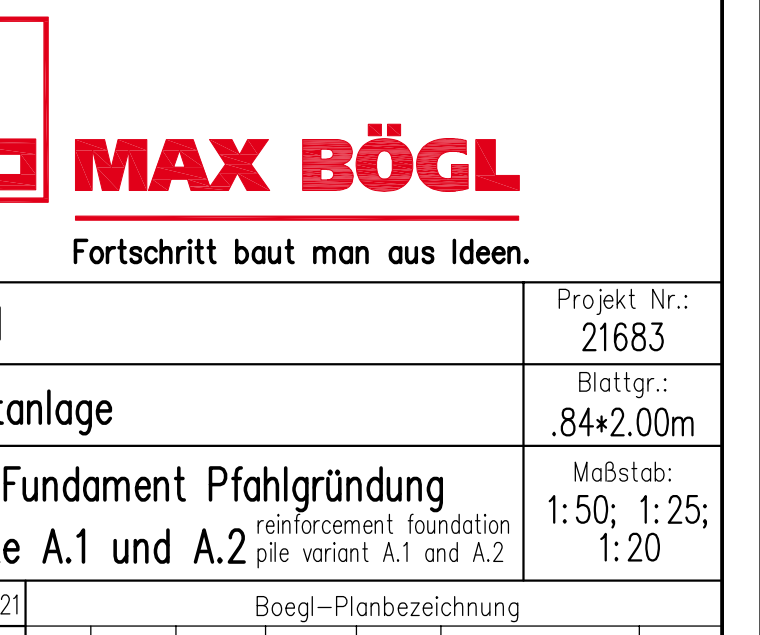
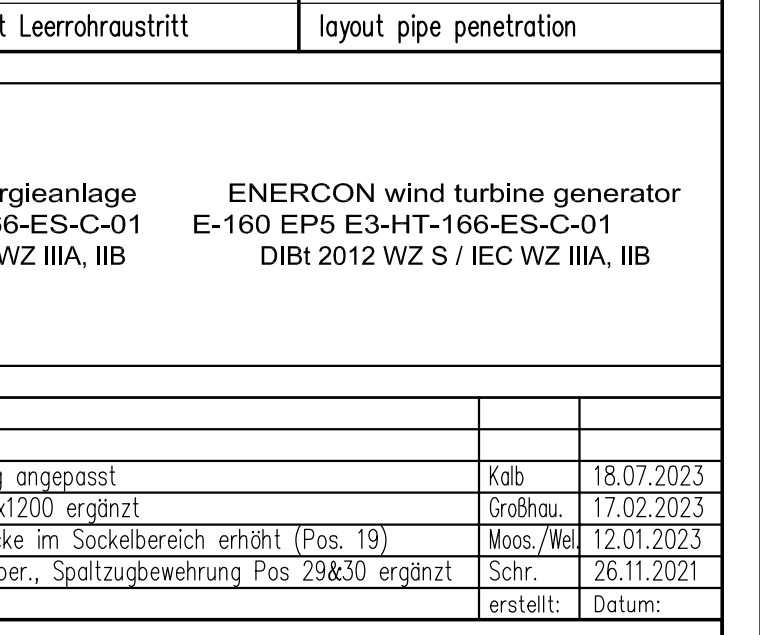
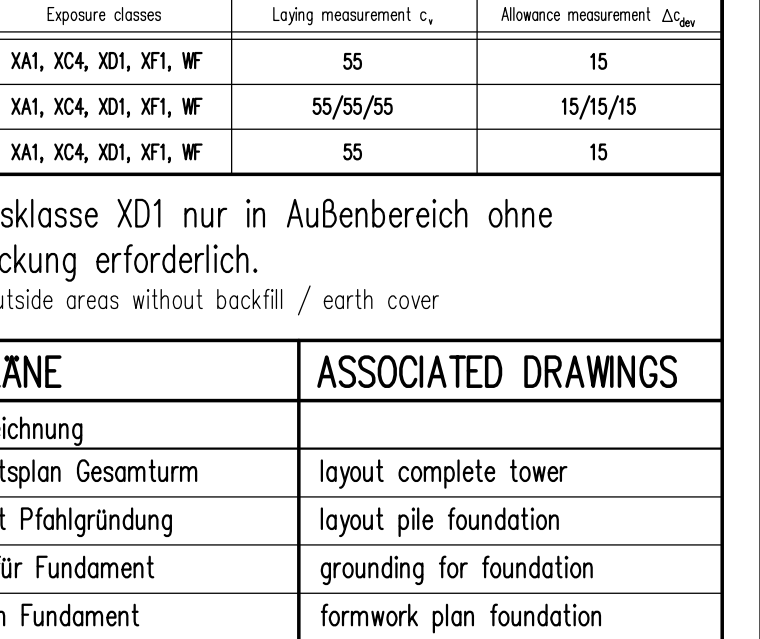
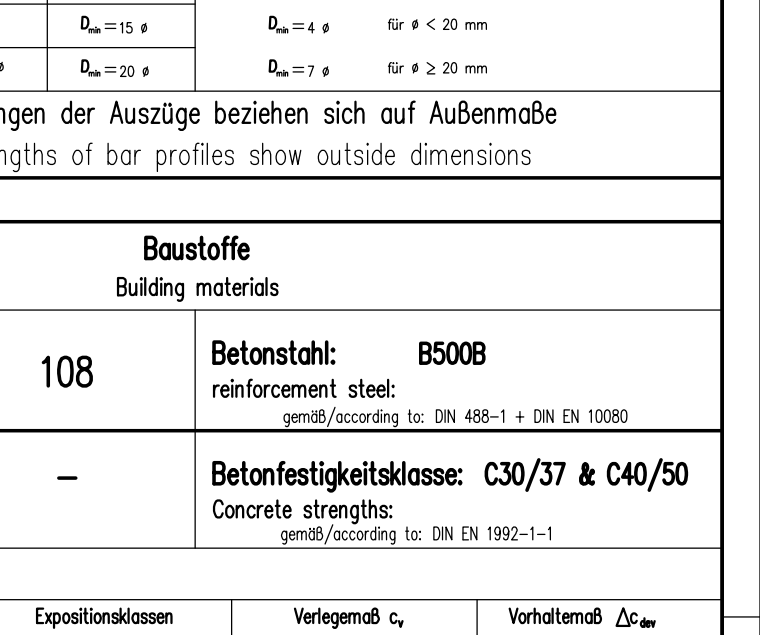
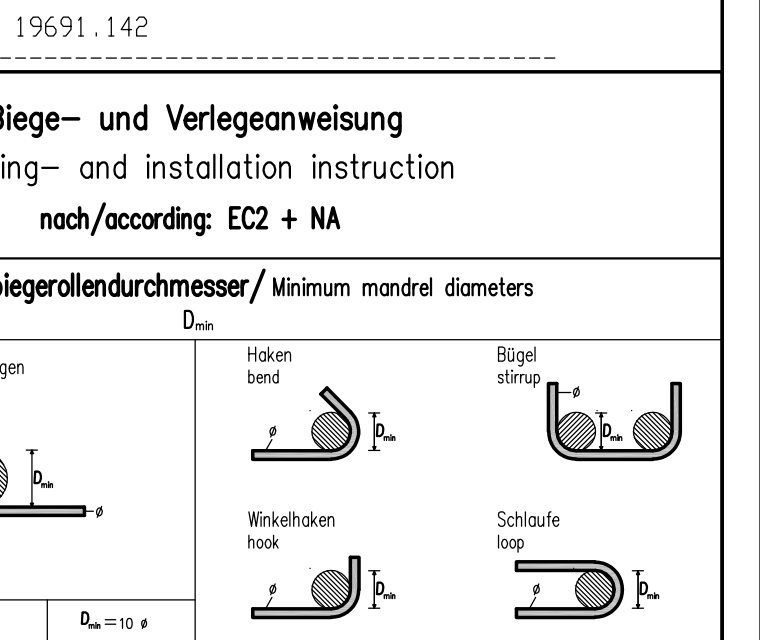
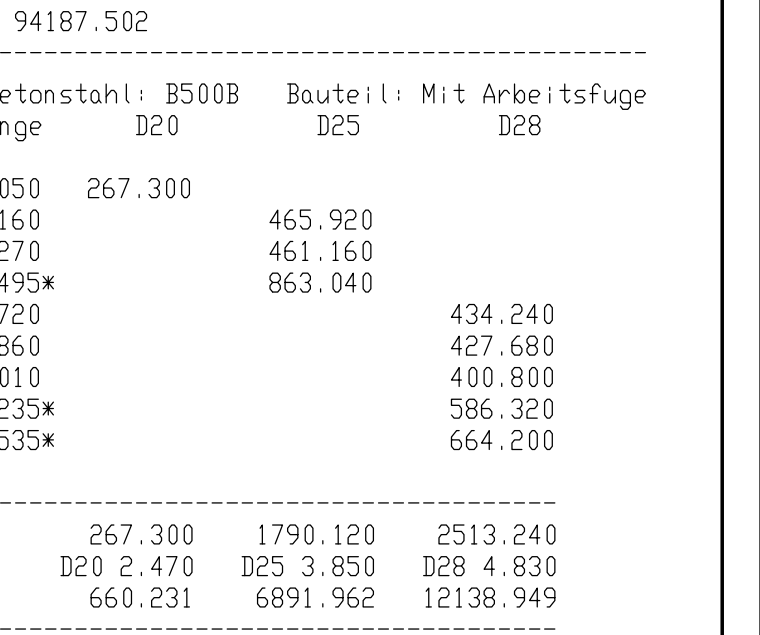
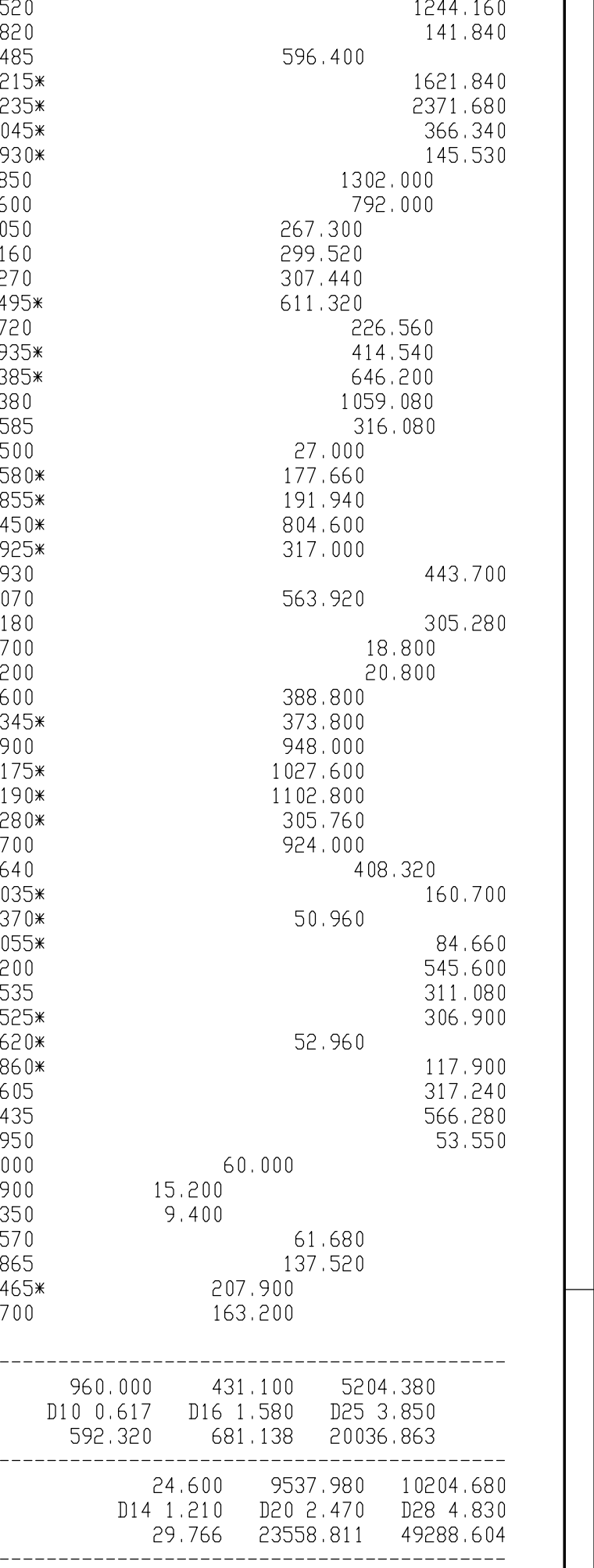
Abstandhalter + Querkraftbewehrung  
Spacer + lateral reinforcement  
M 1:50



Bei Bedarf ist eine Arbeitsfuge auf der Höhe von 1,40m über FUK anzuordnen.  
Bei Ausführung einer Arbeitsfuge sind die Pos. (30) bis (38) zu verwenden.  
If required, a construction joint shall be placed at the height of 1.40 m above the bottom edge of the foundation.  
When executing a construction joint, use the pos. (30) to (38).

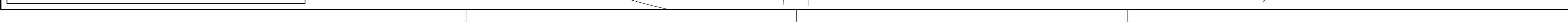
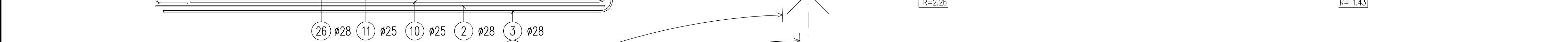


Bei Bedarf ist eine Arbeitsfuge auf der Höhe von 1,40m über FUK anzuordnen.  
Bei Ausführung einer Arbeitsfuge sind die Pos. (30) bis (38) zu verwenden.  
If required, a construction joint shall be placed at the height of 1.40 m above the bottom edge of the foundation.  
When executing a construction joint, use the pos. (30) to (38).

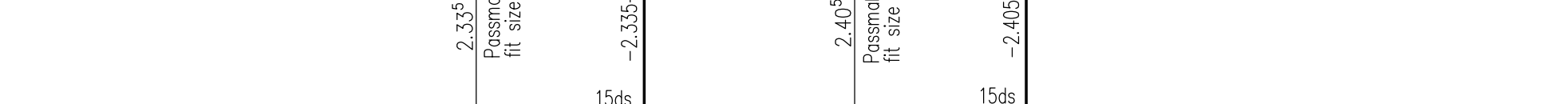


## M 1:50

Ausführung mit Arbeitsfuge  
Execution with construction joint



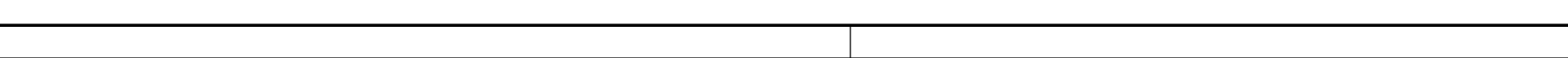
M 1:25 schematische



**SCHEME**  
**CIRCULAR REINFORCEMENT**

[illegible]

37 20



Detail Bewehrung im Türbereich  
detail reinforcement in the area of door

**forcement in the area of "Anchor bars"**  
**Verkehrung im Bereich "Verankerung"**

Bewehrung im Bereich der Verankerung (Ankerstangen) nach innen schieben

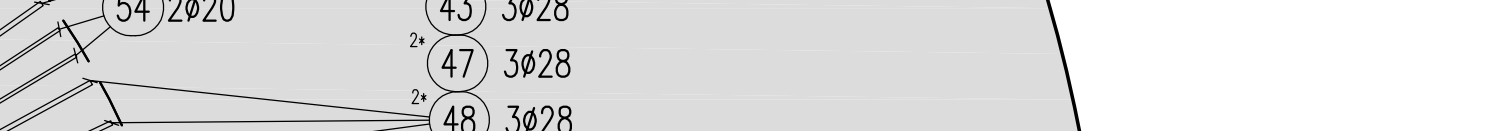
Layout scheme  
 Grundrisschema

M 1:50

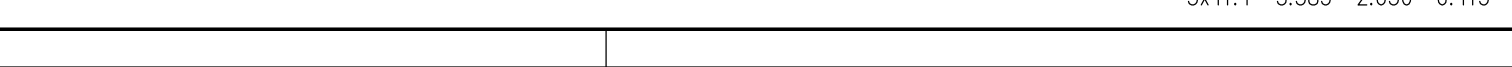
Bewehrung im Bereich der Verankerung nach innen schieben

Turmturmteigpunkt  
 centre of tower

Ankerstangen  
 anchor bars



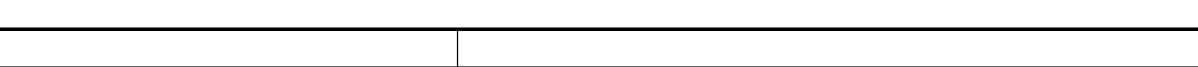
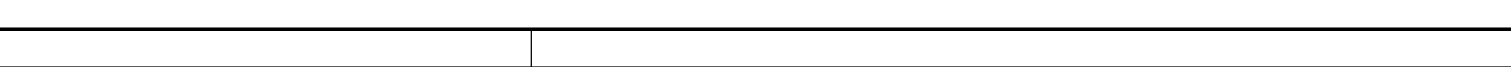
38 12025



Factorial Forming



und im Fundamentkopf, siehe separaten



in Mittel						
Personen		Gewichte		Längen		
n	/ m	n	/ g	n	/ m	n
Personen	960.000		431.100			
/ m	310 0 617		106 1 588			
Gewichte	592 320		681 138			
Längen	24 60		9479 18			
/ g	11 210		020 11			
/ m	29 766		23413 53			
Gesamtgewicht (kg) 94942,266						
T A H L I S T E						
Pos.	Stk.	l	St	Bestandsst.	5500B	Beuteil: M
				l	l	l
01	66	20	4,050	267.300		
02	110	23	1,60		465,92	
10	68	25	2,470		461,160	
13	192	25	4,495		963,400	
14	9	28	0,38			
15	88	28	0,860			
16	80	28	0,510			
17	112	28	0,335			
18	120	28	5,335			
in Mittel						
Personen		Gewichte		Längen		
n	/ m	n	/ g	n	/ m	n
Personen	267.300		1790.120			
/ m	220 2 470		25 8 850			
Gewichte	660 221		6891 96			

Biege- und Verlegeanweisung Bending- und installation instruction nach/according: EC2 + NA	
<b>Mindestbiegerollendurchmesser / minimum mandrel</b> $D_{min}$	
Stützabstände gemäß EN 12556 $L_1$	Halben bünd $r$
	Vollständerbuck $r$
Biegeabstand $> 130 \text{ mm}$ und $> 7 \cdot r$	$D_{min} = 10 \cdot r$

Stärke der Bewehrung ≥ 50 mm und > 3	$\sigma_{s1} \geq 15$	$\sigma_{s2} \geq 10$	$\sigma_{s3} \geq 10$	$\sigma_{s4} \geq 10$	$\sigma_{s5} \geq 10$
Stärke der Bewehrung < 50 mm und ≤ 3	$\sigma_{s1} \geq 20$	$\sigma_{s2} \geq 15$	$\sigma_{s3} \geq 10$	$\sigma_{s4} \geq 10$	$\sigma_{s5} \geq 10$

Die Gesamtängen der Aussäge beziehen sich auf  $A_{s1}$   
 All total lengths of bar profiles show outside dim


letzte Stichtabposition final steel bar position  letzte Mattenposition final mesh position  Betondeckung [mm] concrete cover	108   —	Betonstahl reinforcement steel gemäß CEN/EN 10080  Betonfestigkeitsklasse concrete strength gemäß CEN/EN 12620	B50   B25
Expositionsdauer	Vorgewähltes $c_{\min}$		

		Exposure classes	Leiging measurement n <sub>1</sub>
innen	inside	XAD, XAD1, XAD1, WF, WF	55
außen/oben/außen	outside/top/outside	XAD, XAD, XAD1, XAD1, WF, WF	55/55/55
außen	outside	XAD, XAD, XAD1, XAD1, WF, WF	55

Anmerkung: Expositionsklasse XD1 nur in Außenbereich  
 Erdbereicherung erforderlich.  
 Note: Exposure class XD1 in outside areas without backfill / earth cover

ZUGEHÖRIGE PLANE	ASSOCIATED PLANE
Planbereinigung	
Übersichtslage Gesamtum	layout comp
Übersichtslage Platzgründung	layout pla
Erdung für Fundament	grounding f
Schalplan Fundament	formwork pla

X_X_Schalplan	Übersicht Lernhraustritt	layout pipe
ENERCON Windenergieanlage E-160 EP3 E3-HT-168-ES-C-01 DIBt 2012 WZ S / IEC WZ IIIA, II B		ENERCON wind E-160 EP3 E3-HT- DIBt 2012 WZ S
<input type="checkbox"/>	Lage Ausparung erregert!	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ausparung 6001200 ergnd?	
<input checked="" type="checkbox"/>	Anzahl Schubböle im Soekobereich erhöht (Pos. 19)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Spaltbewehrung Pos. 29436 ergnd?	
Berechnung	Berechnung	


**MAX BÖGL**  
 Fortschritt baut man aus  
 zuhelfe: Max Bögl  
 aufarbeiten: Windkraftanlage  
 aufteile: Bewehrung Fundament Pfahlgründung  
 Pfahlvariante B reinforcement foundation  
 st.: Ernst Dat.: 24.09.2002 Bögl-Planbezeichnung

[illegible]



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

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Klimatische Verhältnisse und Umgebungsbedingungen

---

<sup>1</sup> 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 $\alpha$ (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

<sup>2</sup> 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
--------------------------------	-------

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

---

<sup>1</sup> 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 $\alpha$ (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	$\leq 1.225$
Maximale Luftdichte im Produktionsbetrieb	$\leq 1.341$
Maximale Luftdichte beim Trudeln oder im geparkten Zustand	$\leq 1.394$

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

Darüber hinaus werden dem Design der Anlage folgende Umgebungsbedingungen 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]

<sup>2</sup> Drehzahl auf die im Vollastbetrieb 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 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	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

<sup>3</sup> 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 Berechnungskoodinaten-systemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden konservative berücksichtigt nach [2.1] - [2.3].

- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der 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 getriebeles, mit einem direkt angetriebenen Generator. Das Hauptbremssystem ist die aerodynamische Bremsung durch die voneinander unabhängige axiale Drehung der einzelnen Rotorblätter, die in einem Bereich zwischen 0° und 90° bewegt werden können.

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

Typ	E-160 EP5 E3			
Windklasse	IEC III A, DIBt WZ S			
Nennleistung	5560 kW			
Rotorblatt (Durchmesser)	LM 78.3 P (160 m)			
Turmtyp (Nabenhöhe)	Stahlurm (ST) 98 m	Hybridurm (HT) 166 m	Hybrid Stahlurm (HST) 114 m	Hybrid Stahlurm (HST) 120 m
Drehzahlgrenze Betriebsführung (n <sub>4</sub> )	10.81 U/min	10.58 U/min	10.81 U/min	11.04 U/min
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem (n <sub>A</sub> )	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 Prüfumfanges
  - 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 Plattform**

### **- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -**

**TÜV NORD Report Nr.:** 8114242475-5 D Rev. 9

**Prüfobjekt:** Elektrische Komponenten und Blitzschutz der  
Windenergieanlage ENERCON EP5 Plattform

**Prüfumfang:**

- DIBt 2012
- IEC 61400-22

**Hersteller:**

ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 60 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Experte
9	18.01.2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generatoren E-160 E3 EP5-GU-01 und E-160 E3 EP5-GU-02 hinzugefügt</li> <li>Neue NSV E-160 EP5 E3 Replacement hinzugefügt</li> <li>Kapitel 7 "Offene Punkte " hinzugefügt</li> <li>Geänderte Seiten: 5, 8, 23, 24, 30, 42, 44-47, 56, 57, 61</li> <li>TÜV NORD Angebot: 2021-0042N</li> </ul>	M. Sinnigen
8	03.08.2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testbericht Umrichter ACS880-77CC-6880A/5500A-7 hinzugefügt</li> <li>Anlagenkonfiguration L160 E1 / E1 E-160 als Prototyp deklariert</li> <li>TÜV NORD Angebot: 2021-0273</li> </ul>	M. Sinnigen
7	15.07.2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transformatoren TDU-653A02S6A-TU, TDU-653A03W6N-TU von Siemens und DST 6200 H/30, DST 6500 H/20 von SBG hinzugefügt</li> <li>Isolationskoordinationsstudie hinzugefügt</li> <li>Erwärmungstest für Generator E-160 E2 EP5-GU-01 eingefügt</li> <li>Weitere Dokumente in Kapitel 1 aktualisiert</li> <li>Geänderte Nummerierung der Dokumente in Kapitel 1</li> <li>TÜV NORD Angebote: 2021-0042; 2021-0273</li> </ul>	M. Sinnigen
6	25.11.2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pitch Umrichter SK 200E-751-340 von Nord Drive Systems hinausgenommen</li> <li>Azimutmotor 132SP/4 BRE60 PT1000 von Nord Drive Systems aufgeführt</li> <li>TÜV NORD Angebot: 2021-0042</li> </ul>	C. Silva
5	03.11.2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>Name vom Hersteller von Lagerwey auf ENERCON geändert</li> <li>Name der Plattform von Lagerwey EP5 / LP4 auf ENERCON EP5 geändert</li> <li>E-160 E3 Konfiguration und die dazu entsprechende Dokumentation hinzugefügt</li> <li>Umrichter ACS880-77CC-6880A/5500A-7 von ABB aufgeführt</li> <li>Pitch Umrichter SK 200E-751-340 von Nord Drive Systems aufgeführt</li> <li>Aktualisierte sowie weitere Dokumente in Kapitel 1 aufgeführt</li> <li>TÜV NORD Angebot: 2021-0042</li> </ul>	C. Silva
4	01.03.2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>E-160 E2 Konfiguration und die dazu entsprechende Dokumentation hinzugefügt</li> <li>Generator E-160 E2 EP5-GU-01 aufgeführt</li> <li>Transformatoren HPNW 6500A-2034T12001 und HPNW 6500A-2035T10001 hinzugefügt</li> <li>Aktualisierte sowie weitere Dokumente in Kapitel 1 aufgeführt</li> <li>TÜV NORD Angebot: 2020-0260</li> </ul>	C. Silva
3	02.12.2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>E147 E2 Konfiguration und dazu entsprechende Dokumentation hinzugefügt</li> </ul>	C. Silva

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

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente .....	5
1.1	System Beschreibung .....	5
1.2	Generator .....	6
1.3	Umrichter.....	8
1.4	Blitzschutz .....	11
1.5	Schleifring .....	13
1.6	Elektrischer Azimutantrieb.....	14
1.7	Elektrischer Pitchantrieb.....	16
1.8	Ladeausrüstung und Speicher .....	18
1.9	Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung.....	19
1.10	Schaltpläne .....	24
1.11	Transformator.....	30
1.12	Mittelspannungsschaltanlage .....	35
1.13	Mitgeltende Unterlagen .....	39
2	Angewandte Normen .....	42
3	Einleitung .....	43
4	Beschreibung der elektrischen Hauptkomponenten.....	44
4.1	Design Basis .....	44
4.2	Klimatische Bedingungen.....	44
4.3	Komponenten Beschreibung .....	45
5	Prüfbemerkungen .....	54
5.1	Methode .....	54
5.2	Anmerkungen.....	54
5.3	Prüfergebnis.....	55
6	Auflagen.....	59
7	Offene Punkte .....	60
8	Schlussfolgerung .....	60

## **1 Dokumente**

### **1.1 System Beschreibung**

- [1.1.1] Lagerwey Wind BV  
Functional turbine specification L136  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10372-R3  
Rev. R3, Datum: 21.07.2017
- [1.1.2] Lagerwey Wind BV  
Functional turbine specification L147  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10529-R2  
Rev. R2, Datum: 20.12.2018
- [1.1.3] Lagerwey Wind BV  
LP4 L136-4.5MW Electrical Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C7-30-050240-R2  
Rev. R2, Datum: 03.07.2019
- [1.1.4] Lagerwey Wind BV  
Functional Turbine specification E-160 E1  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10530-R4  
Rev. R0, Datum: 08.07.2020
- [1.1.5] Lagerwey Wind BV  
Functional Turbine specification E-147 E2  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10944-R0  
Rev. R0, Datum: 01.09.2020
- [1.1.6] Lagerwey Wind BV  
Functional Turbine specification E-160 E2  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10986-R0  
Rev. R0, Datum: 22.01.2021
- [1.1.7] Lagerwey Wind BV  
Functional Turbine specification E-160 EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: D02274526\_3.1 (früher M00-C2-30-10988)  
Rev. 3.1, Datum: 22.08.2022
- [1.1.8] ENERCON  
Outline drawing – Nacelle E-160 EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: D02399059/0.1-de/en  
Rev. -, Datum: 17.06.2021
- [1.1.9] ENERCON  
Insulation coordination evaluation EP5 E3 - Technical description  
Dokumenten-Nr.: D02657309/1.0-en  
Rev: 1, Datum: 24.05.2022

## **1.2 Generator**

- [1.2.1] Lagerwey Wind BV  
LP4 Generator LW 5600-4300 description & data sheet  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050188-R1  
Rev. R1, Datum: 16.01.2019
  
- [1.2.2] Lagerwey Wind BV  
LP4 Generator LW 5600-4300 Typ test  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050146-R0  
Rev. R0, Datum: 22.05.2017
  
- [1.2.3] Lagerwey Wind BV  
Zeichnung Stator lamination assy LP4 general info  
Dokumenten-Nr.: M03-C4-20-030890  
Rev. B, Datum: 06.06.2017
  
- [1.2.4] Lagerwey Wind BV  
Zeichnung Stator base frame 5000  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-030715  
Rev. F, Datum: 29.11.2016
  
- [1.2.5] Lagerwey Wind BV  
LP4 Generator LW 5600-4300 heat run  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050147-R1  
Rev. 1, Datum: 23.12.2019
  
- [1.2.6] ENERCON  
Generator Datenblatt EP5-GU-E160-E1  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050367-R0  
Rev. 0, Datum: 03.08.2020
  
- [1.2.7] ENERCON  
Technische Beschreibung – Derating curve E-160 EP5 E1 / 4600 kW  
Dokumenten-Nr.: D0955336-0  
Rev. -, Datum: 24.04.2020
  
- [1.2.8] Lagerwey Wind BV  
Outline drawings – Generator LW6000 – 5450  
Dokumenten-Nr.: 20-031438  
Rev. A, Datum: 31.10.2019
  
- [1.2.9] Lagerwey Wind BV  
LP4 Single Line Diagram SP  
Dokumenten Nr.: 20-500215  
Rev. R2, Datum: 19.12.2019

- [1.2.10] Lagerwey Wind BV  
EP5 Generator LW6000-5450 – HP type test  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050343-R0  
Rev. R0, Datum: 29.06.2020
  
- [1.2.11] Lagerwey Wind BV  
M03-C5-30-050308-R3-EP5 Generator sensor list.xlsx  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-30-050308-R3  
Rev. R3, Datum: 17.04.2020
  
- [1.2.12] ENERCON  
Generator Data sheet E-147 E2 EP5-GU-01  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050416-R2  
Rev. R2, Datum: 16.11.2020
  
- [1.2.13] Lagerwey Wind BV  
Generator E-147 E2 EP5-GU-01 Type Test Report  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050368-R0  
Rev. R0, Datum: 19.10.2020
  
- [1.2.14] Lagerwey Wind BV  
Outline Drawing – Generator E-147 E2 EP5-GU-01  
Dokumenten-Nr.: M03-C4-20-031935-A  
Rev. A, Datum: 23.04.2020
  
- [1.2.15] ENERCON  
Generator Data sheet E-160 E2 EP5-GU-01  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050383-R0  
Rev. R0, Datum: 14.01.2021
  
- [1.2.16] Lagerwey  
Generator E-160 E2 EP5-GU-01 Type Test Report  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050374-R0  
Rev. R0, Datum: 11.01.2021
  
- [1.2.17] Lagerwey  
Outline drawing – Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (stator base frame)  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-031805  
Rev. C, Datum: 13.10.2020
  
- [1.2.18] Lagerwey  
Outline drawing – Generator E-160 E2 EP5-GU-01 (stator lamination assy)  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-031784  
Rev. B, Datum: 24.11.2020

[1.2.19] Lagerwey Wind BV  
Generator E-160 E2 EP5-GU-01 Heat Run  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-40-050405-R0  
Rev. 0, Datum: 13.06.2022

[1.2.20] ENERCON  
Generator Data sheet E-160 E3 EP5-GU-02  
Dokumenten-Nr.: M03-C2-30-050487-R0  
Rev. R0, Datum: 23.12.2022

### **1.3 Umrichter**

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

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

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

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

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

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

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

- [1.3.8] ABB  
Part list Loosen Parts ACS880-87  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000045538  
Rev. A, Datum: 09.12.2016
  
- [1.3.9] ABB  
Routine Test Report Master Drive ACS880-87-8000A/6144A-7  
Seriennummer: 8165000431  
Rev. -, Datum: 03.03.2017
  
- [1.3.10] ABB  
Routine Test Report Slave Drive ACS880-87-8000A/6144A-7  
Seriennummer: 8165000433  
Rev. -, Datum: 03.03.2017
  
- [1.3.11] Lagerwey Wind BV  
LP4 Protection Settings for Converter  
Dokumenten-Nr.: M12-C2-40-050153-R0  
Rev. R0, Datum: 07.04.2017
  
- [1.3.12] Lagerwey Wind BV  
ACS880-87LC Specification 2x(5+4) converter with Brake Chopper – 5.0MW  
Dokumenten-Nr.: M12-C5-30-050224-R1  
Rev. R1, Datum: 18.01.2019
  
- [1.3.13] ABB  
Routine test report  
Seriennummer: 8183000209  
Rev. -, Datum: 31.07.2018
  
- [1.3.14] ABB  
Dimension drawing  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000045796  
Rev. A, Datum: 31.10.2016
  
- [1.3.15] Lagerwey Wind BV  
ACS880-87CC Specification 2x(5+3) converter with Brake Chopper – 4.5MW  
Dokumenten-Nr.: M12-C5-30-050252-R1  
Rev. R1, Datum: 15.02.2019
  
- [1.3.16] ABB  
Hardware Manual ACS880-CC wind turbine converters  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000466948  
Rev. A, Datum: 15.08.2019

- [1.3.17] ABB  
Routine Test Report ACS880-87CC-5200A/4800A-7  
Seriennummer: 8190900521  
Rev. -, Datum: 29.03.2019
  
- [1.3.18] ABB  
Routine Test Report Drive Module ACS880-104LC-0860A-7+D150  
Seriennummer: 8191001744  
Rev. -, Datum: 07.03.2019
  
- [1.3.19] ABB  
Zeichnung  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000447534  
Rev. B, Datum: 05.04.2019
  
- [1.3.20] ABB  
Circuit Diagram Master  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000422616  
Rev. F, Datum: 11.07.2019
  
- [1.3.21] ABB  
Circuit Diagram Slave  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000422623  
Rev. F, Datum: 11.07.2019
  
- [1.3.22] ABB  
Part List Master  
Dokumenten-Nr.: 3AUA5000080010  
Rev. A, Datum: 27.03.2019
  
- [1.3.23] ABB  
Part List Slave  
Dokumenten-Nr.: 3AUA5000080029  
Rev. A, Datum: 27.03.2019
  
- [1.3.24] ABB  
EU Declaration of Conformity ACS880-87CC-5200/4800A-7  
Dokumenten-Nr.: 3AXD10000881862  
Rev.: -, Datum: 25.03.2019
  
- [1.3.25] Lagerwey Wind BV  
Technical Specifications - ACS880-77CC 2x(4+4) 6880A-5500A (eNac)  
Dokumenten-Nr.: M12-C5-30-050370-R1  
Rev. R1, Datum: 08.12.2020

- [1.3.26] ABB  
Hardware Manual – ACS880-77CC wind turbine converters (preliminary)  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000813605  
Rev. A, Datum: 06.10.2021
- [1.3.27] ABB  
Dimension drawing – 4XINU+4XISU MASTER ACS880-77CC  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000634606  
Rev. -, Datum: 27.05.2020
- [1.3.28] ABB  
Circuit diagram - ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Wind Turbine Drive  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000811922  
Rev. B, Datum: 06.09.2021
- [1.3.29] ABB  
Circuit diagram - ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Wind Turbine Drive  
Dokumenten-Nr.: 3AXD50000811939  
Rev. B, Datum: 06.09.2021
- [1.3.30] ABB  
EU Declaration of Conformity  
Dokumenten-Nr.: 3AXD10001415019  
Rev. A, Datum: 29.06.2021
- [1.3.31] ABB  
ACS880-87CC-2580A\_2400A-7 3+3 capacitor discharge type test report  
Dokumenten-Nr.: 3AXD10000782787  
Rev. 01, Datum: 05.09.2018
- [1.3.32] ABB  
Routine Test Report  
Master Drive ACS880-77CC-6880A/5500A-7  
S/N: 8214300438  
Rev. -, Datum: 18.10.2021
- [1.3.33] ABB  
Routine Test Report  
Slave Drive ACS880-77CC-6880A/5500A-7  
S/N: 8214301544  
Rev. -, Datum: 18.10.2021

## **1.4 Blitzschutz**

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

- [1.4.2] LM Wind Power Wind Power  
Technical Blade Specification LM 66.5 P  
Dokumenten-Nr.: BS-00328/A2  
Rev. A2, Datum: 15.11.2013
  
- [1.4.3] LM Wind Power  
Outline drawing LM 66.5 P Lagerwey  
Dokumenten-Nr.: DR-08147/A2  
Rev. A2, Datum: 21.11.2016
  
- [1.4.4] LM Wind Power  
Technical Data Sheet SafeReceptor, Insulated Lightning Protection System (ILPS)  
Dokumenten-Nr.: TX-01903/A1  
Rev. -, Datum: 08.03.2011
  
- [1.4.5] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH  
Evaluation Report, Safe Receptor, Insulated Lightning Protection System  
Report Nr.: 74163-24  
Rev. 2, Datum: 29.01.2014
  
- [1.4.6] Germanischer Lloyd Renewables Certification  
Component Certificate, Safe Receptor, Insulated Lightning Protection System  
Report Nr.: CC-IEC-22-005A-2010  
Rev. 1, Datum: 29.01.2014 (letzte Aktualisierung vom Zertifikat 14.05.2018)
  
- [1.4.7] DNV GL Renewables Certification  
Component Certificate – SAFE Receptor Insulated Lightning Protection System (ILPS);  
Dokumenten-Nr.: CC-DNV-GL-SE-0074-04682-2  
Rev. -, Datum: 30.04.2019, gültig bis: 29.04.2024
  
- [1.4.8] Lagerwey Wind BV  
Foundation earthing plan MST 128,2  
Dokumenten-Nr.: M08-C5-20-080027  
Rev. B, Datum: 01.01.2017
  
- [1.4.9] LM Wind Power  
Lightning protection –blade test  
Seriennummer: LM66.5P#0002  
Rev. -, Datum: 04.09.2014
  
- [1.4.10] Lagerwey  
Schematics lightning protector weather station v1.3  
Dokumenten-Nr.: 0001  
Rev. 1.0, Datum: 24.02.2015

- [1.4.11] Bureau Veritas Certification France  
Gutachtliche Stellungnahme Design Prüfung – LM 78.3 P Rotorblatt  
Dokumenten-Nr.: 190061-DE-BLA-02-1  
Rev. 1, Datum: 28.05.2020
  
- [1.4.12] ENERCON  
Technische Beschreibung – Blitzschutz  
Dokumenten-Nr.: D0260891-12  
Rev.-, Datum: 26.11.2020
  
- [1.4.13] ENERCON  
Duct and lightning plan – Flat foundation (E160 EP5 E3)  
Dokumenten-Nr.: D0983184-0  
Rev. 12, Datum: 15.07.2020

## **1.5 Schleifring**

- [1.5.1] Lagerwey Wind BV  
Specification Slip Ring Unit 24 rings Hybrid  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050152-R0  
Rev. 0, Datum: 29.09.2016
  
- [1.5.2] Morgan-Rekofa GmbH  
Dimension drawing with data sheet and wiring diagram  
Schleifringübertrager 5031376  
Dokumenten-Nr.: F 5927 C  
Rev. -, Datum: 16.09.2016
  
- [1.5.3] Lagerwey Wind BV  
Specification Slip Ring Unit 25 Rings Hybrid with Ethernet  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050328-R1  
Rev. R1, Datum: 06.04.2021
  
- [1.5.4] Moog Rekofa GmbH  
Technical description – Slip Ring Assembly  
Dokumenten-Nr.: F 5927D  
Rev. -, Datum: 07.07.2020 (empfangen)
  
- [1.5.5] Moog Rekofa GmbH  
Zeichnungen – Slip Ring Transmitter  
Zeichnung-Nr.: F 5927D  
Rev. -, Datum: 28.04.2020 (empfangen)
  
- [1.5.6] Moog Rekofa GmbH  
Zeichnungen – Slip Ring Transmitter  
Zeichnung-Nr.: F 5927D CC  
Rev. -, Datum: 08.03.2021

## **1.6 Elektrischer Azimutantrieb**

- [1.6.1] Lagerwey Wind BV  
Design Specification Yaw Drives LP4  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-30-10419-R3  
Rev. R3, Datum: 07.07.2017
  
- [1.6.2] Bonfiglioli  
Dimension drawing yaw drive  
Dokumenten-Nr.: I7120T01 3000  
Rev. B, Datum: 26.03.2014
  
- [1.6.3] Bonfiglioli  
Dimension drawing yaw motor BN1 32S FD50 RM E3 SPEC  
Dokumenten-Nr.: I2804\_1000  
Rev. A, Datum: 27.05.2015
  
- [1.6.4] Bonfiglioli  
Test Report BN 132S 6  
Dateiname: Report BN 132S 6.pdf  
Rev. -, Datum: 25.07.2016
  
- [1.6.5] Bonfiglioli  
Declaration of Conformity  
Dateiname: Declaration of Conformity Yaw motor LP4.pdf  
Rev. -, Datum: 18.04.2016
  
- [1.6.6] Lagerwey Wind BV  
LP4 Yaw Limit Switch GKN  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-30-050193-R0  
Rev. R0, Datum: 12.05.2017
  
- [1.6.7] Bonfiglioli Riduttori  
Catalogue BN-BE-BX series, three-phase asynchronous motors  
Dokumenten-Nr.: BR\_CAT-BNEX\_STD\_ENG\_R03\_1  
Rev.-, Datum: 30.09.2017
  
- [1.6.8] Liebherr  
Dimension drawing yaw drive  
Zeichnung-Nr.: 368 461 4000 99 0  
Rev. 7.5, Datum: 18.06.2020
  
- [1.6.9] Liebherr  
Datenblatt yaw motor  
Dateiname: D0891868-0.pdf  
Rev. A0, Datum: 30.04.2019

- [1.6.10] Liebherr  
Outline drawing yaw motor  
Dateiname: Drawing\_12694320\_AKEJ112M-6R.pdf  
Rev. A6, Datum: 04.06.2020
  
- [1.6.11] Liebherr  
Dimension drawing yaw drive  
Dokumenten-Nr.: 368 461 4000 99 1  
Rev. 6.5, Datum: 18.06.2020
  
- [1.6.12] Liebherr  
Datenblatt yaw motor  
Dateiname: AKEJ112M-6T - 20190508.pdf  
Rev. A0, Datum: 08.05.2019
  
- [1.6.13] Liebherr  
Outline drawing yaw motor  
Dateiname: Drawing\_12694319\_AKEJ112M-6T.pdf  
Rev. A7, Datum: 04.06.2020
  
- [1.6.14] Safenet Limited  
EU declaration of conformity  
Dokumenten-Nr.: 6810180517  
Rev. 3, Datum: 22.05.2017
  
- [1.6.15] Bonfiglioli  
Outline drawing - BN132 with ENCODER  
Dokumenten-Nr.: I7120T025500  
Rev. -, Datum: 07.08.2020
  
- [1.6.16] ENERCON  
Spezifikation Dezentrale Azimutantriebe 5,5 kW  
Dokumenten-Nr.: D0971605-1  
Rev. 2, Datum: 05.03.2021
  
- [1.6.17] Nord Drive Systems  
NORDAC FLEX (SK 200E ... SK 235E) –Manual for Frequency Inverters  
Dateiname: Nord\_SK-200E-751-340-A-C\_datasheet  
Rev. -, Datum: 10.11.2021 (empfangen)
  
- [1.6.18] ENERCON  
Outline drawing – Yaw Motor TPC-5.5kW-38x80-FF265-50.8  
Dokumenten-Nr.: D02168397/0.0-de/en  
Rev. -, Datum: 08.03.2021

- [1.6.19] Getriebebau Nord Motor  
Data Sheet 132SP/4 BRE60 PT1000  
Dateiname: Motor Data Sheet\_ENERCON\_Azimuthmotor EP5\_NC\_EN\_2020- 08-06  
Rev. -, Datum: 06.08.2020

## **1.7 Elektrischer Pitchantrieb**

- [1.7.1] Lagerwey Wind BV  
Design Specification Pitch Drives LP4  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-10420-R2  
Rev. R2, Datum: 07.07.2017
- [1.7.2] Bonfiglioli Vectron  
Catalogue BTB – BCR Synchronous Servomotors  
Dokumenten-Nr.: ve\_cat\_btbdcr\_std\_eng\_r00\_0  
Rev. -, Datum: 26.07.2017 (empfangen)
- [1.7.3] Lagerwey Wind BV  
DC motor 1200rpm 60Nm  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050150-R1  
Rev. R1, Datum: 15.10.2015
- [1.7.4] Alpatek  
Zeichnung A166PMW7  
Dokumenten-Nr.: 24A166PMW7  
Rev.: -, Datum: 11.10.2016
- [1.7.5] Alpatek  
Data Sheet 24A166PM7512  
Dokumenten-Nr. : 24A166PM7512  
Rev.: -, Empfangen E-Mail: 01.08.2017, 17:21 von Hr. van Rekum (Lagerwey)
- [1.7.6] Bonfiglioli Vectron  
Operating Instructions Active Cube  
Dateiname: Operating\_Instructions\_ACU.pdf  
Rev.: -, Datum: 06.2013
- [1.7.7] Lagerwey Wind BV  
Powercable + brake Pitch servomotor  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050165-R0  
Rev. R0, Datum: 23.12.2016
- [1.7.8] Lagerwey Wind BV  
LP4 Pitch Limit Switch GKN  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050192-R0  
Rev. R0, Datum: 15.05.2017

- [1.7.9] Lagerwey Wind BV  
Design report – Pitch System dimensioning L136 & L147  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-40-000432-R0  
Rev. R0, Datum: 16.01.2019
  
- [1.7.10] Lagerwey Wind BV  
Design specification AC Servo pitch motors  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-10609-R0  
Rev. R0, Datum: 13.12.2018
  
- [1.7.11] KEB  
Data Sheet Pitch Motor 7608000-4000  
Dokumenten-Nr.: 7608000-4000  
Rev. 2, Datum: 12.06.2019
  
- [1.7.12] KEB  
EU-Declaration of Conformity Servo motors Series-SM, 76  
Dokumenten-Nr.: ENS\_SM\_E  
Rev. -, Datum: 01.2016
  
- [1.7.13] KEB  
Zeichnung KEB Antrieb 7608000-4000  
Dokumenten-Nr.: 10054310  
Rev. -, Datum: 06.11.2018
  
- [1.7.14] KEB  
Servo motor, Instruction for use | Installation pitch systems  
Dokumenten-Nr.: 20095783 EN 03 (translation)  
Rev. 03, Datum: 03.2017
  
- [1.7.15] KEB  
Instruction Manual Pitch Inverter P6  
Dokumenten-Nr.: 20095484  
Rev. 00, Datum: 07.10.2016
  
- [1.7.16] TÜV Rheinland  
Certificate Pitch Inverter for Wind Turbines  
Dokumenten-Nr.: 968/FSP 1188.01/17  
Rev. -, Datum: 24.01.2017
  
- [1.7.17] KEB  
EU-Declaration of Conformity, Inverter – Typ P6 - V2  
Dokumenten-Nr.: RENS\_P6\_D  
Rev. -, Datum: 02.2016

- [1.7.18] KEB  
EU-Declaration of Conformity, Inverter – yyP6Gxx-xxxx and yyP6Hxx-xxxx  
Dokumenten-Nr.: ce\_wp\_rsafety-p6-d\_en  
Rev. -, Datum: 28.12.2018
- [1.7.19] KEB  
EU-Declaration of Conformity, Servo motor yySMxxx-xxxx and yy76xxx-xxxx  
Dokumenten-Nr.: ce\_gm\_ens-sm-g\_en  
Rev. -, Datum: 28.12.2018
- [1.7.20] KEB  
EU Declaration of Conformity  
Dokumenten-Nr.: ce\_gm\_ens-sm-h\_en  
Rev. -, Datum: 12.2019
- [1.7.21] KEB  
EU Declaration of Conformity  
Dokumenten-Nr.: ce\_wp\_rens-p6-f\_en  
Rev. -, Datum: 01.2019
- [1.7.22] Lagerwey Wind BV  
Specifications - E160 Pitch Limit Switch  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050333-R0  
Rev. R0, Datum: 12.05.2019
- [1.7.23] Lagerwey Wind BV  
Specifications - EP5 Pitch Blade Encoder  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050334-R0  
Rev. R0, Datum: 13.12.2019
- [1.7.24] Lagerwey Wind BV  
E147-E2 Pitch Limit Switch  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-30-050382-R0  
Rev. R0, Datum: 19.10.2020

## **1.8 Ladeausrüstung und Speicher**

- [1.8.1] Lagerwey Wind BV  
Safety system battery capacity  
Dokumenten-Nr.: M50-C2-40-050047-R1  
Rev. R1, Datum: 31.03.2017
- [1.8.2] Mastervolt  
Users manual ChargeMaster 12/10 & 24/06  
Dateiname: Mastervolt Betriebsanleitung Ladegerät.pdf  
Rev. 3.0, Datum: 07.2016

- [1.8.3] Mastervolt  
Technical description Battery Charger (IVO SMART)  
Dokumenten-Nr.: EN091203  
Rev. -, Datum: 13.04.2017 (empfangen)
- [1.8.4] Mastervolt  
Product description CSI alarm  
Dateiname: CSILowBat1210\_2406\_041217.pdf  
Rev. -, Datum: 09.2003
- [1.8.5] Maxwell  
Datasheet 160 V module  
Dokumenten-Nr.: 3000246.6  
Rev. -, Datum: 17.01.2019 (empfangen)
- [1.8.6] LS Ultracapacitor  
Product specification - Ultracapacitor  
Dokumenten-Nr.: V01\_161020  
Rev. -, Datum: 11.03.2020 (empfangen)
- [1.8.7] Lagerwey Wind BV  
L160 Ultracaps dimensioning  
Dokumenten-Nr.: M04-C0-40-000599  
Rev. R0, Datum: 31.10.2019
- [1.8.8] Lagerwey Wind BV  
E160-E2 ultracaps dimensioning  
Dokumenten-Nr.: M04-C2-40-050376-R0  
Rev. R0, Datum: 22.01.2021

## **1.9 Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung**

- [1.9.1] Lagerwey Wind BV  
LP4 Thermal Rating of Main Circuit Cables – Nacelle and Tower Flexible Part  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050143-R2  
Rev. R2, Datum: 22.05.2017
- [1.9.2] Lagerwey Wind BV  
LP4 Thermal Rating of Main Circuit Cables – Tower Rigid Part  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050144-R2  
Rev. R2, Datum: 22.05.2017
- [1.9.3] Lagerwey Wind BV  
LP4 Thermal Rating of Main Circuit Cables – Converter to Transformer  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050145-R1  
Rev. R1, Datum: 10.04.2017

- [1.9.4] Lagerwey Wind BV  
LP4 Tower power cable specification  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-30-050200-R3  
Rev. R3, Datum: 06.05.2021
  
- [1.9.5] Lagerwey Wind BV  
LP4 Short Circuit Current of Main Circuit Cables  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050151-R1  
Rev. R1, Datum: 31.03.2017
  
- [1.9.6] Dekra  
Certificate Flexible cables with cross linked elastomeric insulation H07BN4-F  
Dokumenten-Nr.: 2175022.02  
Rev. -, Datum: 29.01.2015
  
- [1.9.7] TKF Group  
Data sheet medium voltage power cable YMeKrvaslqwd 12/20 kV  
Dateiname: TKF\_product\_54033 Switchgear-Trafo-en.pdf  
Rev. -, Datum: 11.07.2017
  
- [1.9.8] Lagerwey Wind BV  
LP4 Main Turbine Sensors  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050197-R3  
Rev. R3, Datum: 13.12.2019
  
- [1.9.9] Lagerwey Wind BV  
Auxiliary Transformer Specification 150 kVA 690/400V  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-30-050148-R4  
Rev. R4, Datum: 06.05.2020
  
- [1.9.10] Lagerwey  
Main power cable overview LP4 R1.xlsx  
Dateiname: Main power cable overview LP4 R1.pdf  
Rev.: 1, Datum: 31.01.2020
  
- [1.9.11] Incore Cables  
Data sheet NAYY-O 600/1000V  
Dateiname: Datasheet-NAYY-O-600-1000V.pdf  
Rev.: -, Datum: 19.11.2018 (empfangen)
  
- [1.9.12] Incore Cables  
Data sheet H07BN4-F 450/750V  
Dateiname: Datasheet H07BN4-F.pdf  
Rev.: -, Datum: 19.11.2018 (empfangen)

- [1.9.13] Helukabel  
Data sheet N2XSY 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30 kV  
Dateiname: 1DB\_32400\_en  
Rev.: -, Datum: 27.09.2016
  
- [1.9.14] Helukabel  
Certificate of compliance with the order 2.1 according to EN 10204  
N2XSY 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30 kV  
Dateiname: 1WB\_32400\_en  
Rev.: -, Datum: 01.06.2018
  
- [1.9.15] ENERCON  
Zeichnung Stromschiene LP4 VAR  
Dokumenten-Nr.: D0796892-1  
Rev.: 1, Datum: 11.07.2019
  
- [1.9.16] IPH Berlin  
Test Report  
Dokumenten-Nr.: 09940-19-0273; ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850882-0  
Rev. -, Datum: 15.07.2019
  
- [1.9.17] IPH Berlin  
Test Report  
Dokumenten-Nr.: 09940-19-0281; ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850895-0  
Rev. -, Datum: 11.07.2019
  
- [1.9.18] Lagerwey  
Main power cable overview EP5 R1.xlsx  
Dateiname: Main power cable overview EP5 R1  
Rev.-, Datum: 28.10.2019
  
- [1.9.19] LAPP  
Data Sheet - H07RN-F, enhanced version  
Dokumenten-Nr.: DB4533000EN  
Rev. 09, Datum: 07.05.2019
  
- [1.9.20] LAPP  
EU Declaration of Conformity – H07RN-F (enhanced version)  
Dokumenten-Nr.: E 4533000 - 3  
Rev. -, Datum: 11.2018
  
- [1.9.21] Lagerwey Wind BV  
EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables- Nacelle and Tower Flexible Part  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050307-R0  
Rev. R0, Datum: 14.02.2020

- [1.9.22] Lagerwey Wind BV  
EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables - Tower Rigid Part  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050308-R0  
Rev. R0, Datum: 14.02.2020
  
- [1.9.23] ENERCON  
Outline Drawing – Bus Bar TBM 5500 A  
Dokumenten-Nr.: D0899464 – 0  
Rev. -, Datum: 25.11.2019
  
- [1.9.24] ENERCON  
Calculation busbar for E-160 EP5 E2  
Dokumenten-Nr.: D0883034-0  
Rev. -, Datum: 21.01.2021 (empfangen)
  
- [1.9.25] IPH Berlin  
Test Report – AC busbar system TBM 5500 A  
Dokumenten-Nr.: 11898-20-0259  
Rev. -, Datum: 04.02.2021
  
- [1.9.26] Prysmian Group  
Data Sheet – WINDFLEX GLOBAL S-3GSHOEU 1,8/3 kV  
Dateiname: 1800-3000V\_Flexibel\_D0825385-0\_Cu\_Prysmian\_Windflex  
\_Global\_S-3GSHÖU\_unscreened\_en\_rev1.pdf  
Rev. -, Datum: 01.12.2020
  
- [1.9.27] Prysmian Group  
Data Sheet – WINDFLEX-S (N)TSCGEHXOEU /3 20/35 kV  
Dateiname: D0793217-0.pdf  
Rev. -, Datum: 28.12.2020
  
- [1.9.28] ENERCON  
Verkabelungsanleitung – Windenergieanlage E-160 EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: TD-esc-08-de-de-21-XX Rev000  
Rev. -, Datum: 30.06.2021
  
- [1.9.29] ENERCON  
Specification – Pre-assembled MV Tower Cables Set  
Dokumenten-Nr.: D1006722-0  
Rev. 0, Datum: 04.03.2021
  
- [1.9.30] Lagerwey Wind BV  
E160 E3 Auxiliary Transformer Specification 150 kVA 690-400 V  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-30-050428-R3  
Rev. R3, Datum: 29.04.2021

- [1.9.31] Lagerwey Wind BV  
E160 E3 Auxiliary Transformer Specification 115 kVA 690-400 V  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-30-050441-R0  
Rev. R0, Datum: 29.04.2021
  
- [1.9.32] Lagerwey Wind BV  
EP5 Thermal Rating of Main Circuit Cables – eNacelle  
Dokumenten-Nr.: M09-C2-40-050402-R0  
Rev. R0, Datum: 29.07.2021
  
- [1.9.33] IPH Berlin  
Power switchgear and controlgear assembly - NSV E-Gondel EP5 - Test Report  
Dokumenten-Nr.: D02396838-0.0-en  
Rev. -, Datum: 24.05.2021
  
- [1.9.34] ENERCON  
Statement switch over LVD EP5 R0 old/new  
Dokumenten-Nr.: D02815256\_0.0  
Rev. 0, Datum: 12.01.2023
  
- [1.9.35] ENERCON  
Calculation Report for LVD E-160 EP5 E3 Replacement  
Dokumenten-Nr.: D02659410\_0.0  
Rev. 0, Datum: 12.04.2022
  
- [1.9.36] ENERCON  
Assembly drawing – low voltage distribution for LVD EP5 Replacement  
Dokumenten-Nr.: D02653522/1.0-de/en  
Rev. 1.0, Datum: 05.08.2022
  
- [1.9.37] ENERCON  
Assembly drawing – low voltage distribution for LVD EP5 Replacement  
Dokumenten-Nr.: D02653827/1.0-de/en  
Rev. 1.0, Datum: 05.08.2022
  
- [1.9.38] ENERCON  
Assembly drawing – low voltage distribution for LVD Replacement 690V-  
6500kVA-80kA-V2 VAR  
Dokumenten-Nr.: D02655373/2.0/-de/en  
Rev. 2.0, Datum: 14.10.2022
  
- [1.9.39] ABB Laboratories Ratingen  
Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST  
Dokumenten-Nr.: D02719585\_1.0, Rev.1.0  
Report-Nr.: XZ 320 E 01, Datum: 23.06.2022

- [1.9.40] ABB Laboratories Ratingen  
Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST  
Dokumenten-Nr.: D02719587\_1.0, Rev. 1.0  
Report-Nr.: XZ 320 E 02, Datum: 23.06.2022
- [1.9.41] ABB Laboratories Ratingen  
Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST  
Dokumenten-Nr.: D02719593\_0.0, Rev. 0.0  
Report-Nr.: XZ 320 F 01, Datum: 01.06.2022
- [1.9.42] ABB Laboratories Ratingen  
Test Certificate - LVD replacement 690V-6500kVA-80kA-2CT-SST  
Dokumenten-Nr.: D02719597\_0.0, Rev. 0.0  
Report-Nr.: XZ 320 G 01, Datum: 13.06.2022
- [1.9.43] Eland Cables Limited  
Datasheet - H07BN4-F (6381TQ) EN 50525-2-21 - Flexible Rubber Cable  
Dokumenten-Nr.: D02629430\_0.0\_de-en  
Rev. 0.0, Datum: 17.01.2023 (erhalten)
- [1.9.44] Prysmian Group  
Datasheet – H07BN4-F FLEXTREME 90  
Dokumenten-Nr.: D02629429\_0.0\_de-en  
Rev. 0.0, Datum: 05-2019

## **1.10 Schaltpläne**

- [1.10.1] Lagerwey Wind BV  
LP4 Single Line diagram  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500201-R0  
Rev. R0, Datum: 11.05.2017
- [1.10.2] Lagerwey Wind BV  
LP4 Wiring diagram  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500200-R5  
Rev. R5, Datum: 19.12.2019
- [1.10.3] Lagerwey Wind BV  
LP4 Electrical System automatic disconnection Devices and Fuses  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050198-R3  
Rev. R3, Datum: 07.02.2020
- [1.10.4] Lagerwey Wind BV  
LP4 Protection Functions and Settings  
Dokumenten-Nr.: M17-C7-30-050239-R1  
Rev. R1, Datum: 13.06.2019

- [1.10.5] Lagerwey Wind B.V.  
LP4 Single Line Diagram Single Pitch Motors  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500215-R2-LP4  
Rev. R1, Datum: 26.07.2019
  
- [1.10.6] Lagerwey Wind B.V.  
LP4 wiring diagram  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-0500200-B-LP4  
Rev. R0, Datum: 12.11.2018
  
- [1.10.7] Lagerwey Wind B.V.  
Tower 155.0m MST MKII  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-550013-A  
Rev. A, Datum: 25.10.2019
  
- [1.10.8] Lagerwey Wind BV  
Tower 128.2m MST BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550006 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.9] Lagerwey Wind BV  
Tower 106.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550008 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.10] Lagerwey Wind BV  
Tower 120.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550009 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.11] Lagerwey Wind BV  
Tower 126.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550010 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.12] Lagerwey Wind BV  
Tower 132.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550011 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.13] Lagerwey Wind BV  
Tower 143.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550012 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019

- [1.10.14] Lagerwey Wind BV  
Tower 155.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550013 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.15] Lagerwey Wind BV  
Tower 166.0m MST MK2 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-550014 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.16] Lagerwey Wind BV  
Tower options BB  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-558000 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.17] Lagerwey Wind BV  
Nacelle 2760 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-540002 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.18] Lagerwey Wind BV  
Nacelle 2760 EP5 BB  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-540004 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.19] Lagerwey Wind BV  
Nacelle options LP4  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-548002 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.20] Lagerwey Wind BV  
Generator EP5 BB  
Dokumenten-Nr.: M03-C5-20-530003-E  
Rev. E, Datum: 01.06.2021
  
- [1.10.21] Lagerwey Wind BV  
Hub 2340 LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-20-520002 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.22] Lagerwey Wind BV  
Hub EP5 BB  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-20-520004 - E  
Rev. E, Datum: 02.06.2021

- [1.10.23] Lagerwey Wind BV  
Hub options LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M04-C5-20-528010 – A  
Rev. A, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.24] Lagerwey Wind BV  
Tower Base Platform General (2xACS880) LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-560003 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.25] Lagerwey Wind BV  
Tower Base Module General LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-560005 – B  
Rev. B, Datum: 05.12.2019
  
- [1.10.26] Lagerwey Wind BV  
Medium Voltage room LP4 BB  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-20-562003 – B  
Rev. B, Datum: 28.11.2019
  
- [1.10.27] Lagerwey Wind BV  
EP5 Single Line Diagram  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-20-500233 – A  
Rev. A, Datum: 07.10.2020
  
- [1.10.28] Lagerwey Wind BV  
EP5 Single Line Diagram  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-560006 – A  
Rev. A, Datum: 27.07.2020
  
- [1.10.29] ENERCON  
Control Cabinet Transformer  
Dokumenten-Nr.: D1020118  
Rev. -, Datum: 09.04.2021
  
- [1.10.30] ENERCON  
Control Cabinet Transformer  
Dokument-Nr.: D1015142  
Rev. –, Datum: 09.04.2021
  
- [1.10.31] Lagerwey Wind BV  
Auxiliary power distribution box EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543001-B-01  
Rev. B01, Datum: 18.06.2021

- [1.10.32] Lagerwey Wind BV  
Nacelle control box EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543010-B-01  
Rev. B01, Datum: 14.07.2021
  
- [1.10.33] Lagerwey Wind BV  
Nacelle junction box  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543040-A-01  
Rev. A01, Datum: 21.04.2021
  
- [1.10.34] Lagerwey Wind BV  
Light Installation E-Nacelle  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543050-A-01  
Rev. A01, Datum: 21.04.2021
  
- [1.10.35] Lagerwey Wind BV  
Cooling control box EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543020-B-01  
Rev. B01, Datum: 18.06.2021
  
- [1.10.36] Lagerwey Wind BV  
Auxiliary Transformer  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543070-B  
Rev. B, Datum: 28.04.2021
  
- [1.10.37] Lagerwey Wind BV  
Power Converter ACS880-77CC 2x(4+4)  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543081-B  
Rev. B, Datum: 28.04.2021
  
- [1.10.38] Lagerwey Wind BV  
Tower Control Box  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569006-B  
Rev. B, Datum: 23.04.2021
  
- [1.10.39] Lagerwey Wind BV  
Tower Control Panel  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569015-B  
Rev. B, Datum: 14.07.2021
  
- [1.10.40] Lagerwey Wind BV  
TBCU light installation  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569084-A  
Rev. A, Datum: 23.04.2021

- [1.10.41] Lagerwey Wind BV  
TBCU switchboard  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569124 - A  
Rev. A, Datum: 23.04.2021
  
- [1.10.42] Lagerwey Wind BV  
Lightning Arrester Box  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543030 – A  
Rev. A, Datum: 28.01.2021
  
- [1.10.43] Lagerwey Wind BV  
Weather station (2x NRG & 1x VA)  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543060-A-01  
Rev. A01, Datum: 05.05.2021
  
- [1.10.44] Lagerwey Wind BV  
Medium Voltage Transformer  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543100-A-KFWF-KDWF  
Rev. A, Datum: 28.01.2021
  
- [1.10.45] Lagerwey Wind BV  
Transformer control cabinet  
Dokumenten-Nr.: M02-C5-20-543110-A  
Rev. A, Datum: 28.01.2021
  
- [1.10.46] Lagerwey Wind BV  
Switchgear TBCU EP5  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-562019-A  
Rev. A, Datum: 28.01.2021
  
- [1.10.47] Lagerwey Wind BV  
Switchgear Remote Control  
Dokumenten-Nr.: M06-C5-20-569177-A  
Rev. A, Datum: 28.01.2021
  
- [1.10.48] ENERCON  
Beleuchtungszentrale  
Dokumenten-Nr.: D0984017-0  
Rev. 0, Datum: 16.07.2020
  
- [1.10.49] ENERCON  
Beleuchtungszentrale  
Dokumenten-Nr.: D1027115-1.0  
Rev. 1.0, Datum: 15.04.2021

- [1.10.50] Lagerwey Wind BV  
Tower Top Connection Box  
Dokumenten-Nr.: M01-C5-20-559201- B  
Rev. B, Datum: 15.07.2021
- [1.10.51] ENERCON  
Low voltage distribution – Assembly Circuit Diagram  
Dokumenten-Nr.: D1027205-1  
Rev. 1, Datum: 16.12.2021
- [1.10.52] ENERCON  
LVD Specification  
Dokumenten-Nr.: D02378837-0  
Rev. 0, Datum: 04.04.2021
- [1.10.53] ENERCON  
LVD Replacement - Assembly circuit diagram  
Dokumenten-Nr.: D1027344-0  
Rev. 0.0, Datum: 23.03.2022
- 1.11 Transformator**
- [1.11.1] Lagerwey Wind BV  
LP4 Grid Transformer 5 MVA Purchase Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050191-R0  
Rev. R0, Datum: 08.03.2017
- [1.11.2] IEO Transformatoren BV  
Typenschild T50IND 21/0,69  
Dokumenten-Nr.: TES Naamplaat Engels 4280-603  
Dateiname: LP4 Name Plate 5MVA 21KV-690V Main Transformer Snr  
162170501.pdf  
Rev. -, Datum: 03.04.2017 (empfangen)
- [1.11.3] IEO Transformatoren BV  
Testreport  
Transformer-Nr.: 162170501  
Rev. -, Datum: 07.02.2017
- [1.11.4] IEO Transformatoren BV  
Brief, Betreff: Supply of 5 MVA 21/0.69 kv Transformer against your order  
130904362 Date 27.03.2017  
Dateiname: Declaration of Conformity 5MVA 21-0.69kV Transformer.pdf  
Rev. -, Datum: 27.07.2017

- [1.11.5] Lagerwey Wind BV  
LP4 Grid Transformer 5 MVA with 7stage MV Tapchanger Purchase  
Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050244-R1  
Rev. R1, Datum: 17.01.2019
  
- [1.11.6] IEO Transformatoren BV  
Typenschild T51IND 21/0,69  
Dokumenten-Nr.: TES Naamplaat Nederlands 4280-601  
Dateiname: Transformer name plate.pdf  
Rev. -, Datum: 10.12.2018 (empfangen)
  
- [1.11.7] IEO Transformatoren B.V.  
Distribution transformers operation manual  
Dokumenten-Nr.: IP/DSG/IM/01  
Rev. 1.2, Datum: 17.05.2018
  
- [1.11.8] IEO Transformer B.V.  
General Specification  
Dokumenten-Nr.: 10888  
Rev. -, Datum: 18.01.2019 (empfangen)
  
- [1.11.9] IEO Transformer B.V.  
Zeichnung General Arrangement 5100 kVA 21000/690 V  
Dokumenten-Nr.: A-6410  
Rev. -, Datum: 29.07.2018
  
- [1.11.10] Lagerwey Wind BV  
LP4 Grid Transformer 5.1 MVA Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050305-R1  
Rev. R1, Datum: 02.07.2019
  
- [1.11.11] Lagerwey Wind BV  
LP4 / EP5 Grid Transformer 5.2 MVA Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050286-R2  
Rev. R2, Datum: 26.11.2019
  
- [1.11.12] Lagerwey Wind BV  
LP4 / EP5 Grid Transformer 5.6 MVA Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050287-R2  
Rev. R2, Datum: 26.11.2019
  
- [1.11.13] ENERCON  
Type certification of distribution transformers  
Dokumenten-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001  
Rev. 001, Datum: 17.02.2014

- [1.11.14] ELTAS  
General Specification, over-all dimension drawing and wiring diagram  
Dateiname: 195973 ELTAS Trafo 5,1 30;0,69 KN L E 50Hz n5 ±2x2,5  
Rev.: -, Datum: 27.08.2019
  
- [1.11.15] ELTAS  
Schaltplan  
Dokumenten-Nr.: 19.M.250.4923  
Rev. -, Datum: 27.02.2019
  
- [1.11.16] ELTAS  
F.A.T. Protocol  
Seriennummer:YT-19-5858, YT-19-5859, YT-19-5860, YT-19-5861, YT-19-5862 Rev. -, Datum 04.2019 (Inspektionsdatum)
  
- [1.11.17] Lagerwey Wind BV  
LP4/EP5 Grid Transformer 6.0 MVA Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050288-R2  
Rev. R2, Datum: 26.11.2019
  
- [1.11.18] J. Schneider Elektrotechnik  
Technical Data Sheet, Outline Drawing  
Dateiname: D1023740-0 770899 JS Trafo 6,0 20;0,69 KN L E 50Hz n5 +4x2,5  
V1.pdf; Rev. -, Datum: 17.07.2020
  
- [1.11.19] J. Schneider Elektrotechnik  
Test Certificate – Three Phase Transformer  
Dateiname: D1023744-0 Test certificate.pdf  
Rev. -, Datum: 13.07.2020
  
- [1.11.20] Lagerwey Wind BV  
Outline drawing – EP5-TBM-01; TBM Bottom unit Components assy  
Zeichnung-Nr.: M06-C5-20-061406 – A  
Rev. A, Datum: 29.06.2020
  
- [1.11.21] Lagerwey Wind BV  
Outline drawing – Bottom unit floorframe weldment  
Zeichnung-Nr.: M06-C5-20-061448 - A  
Rev. A, Datum: 29.06.2020
  
- [1.11.22] ENERCON  
Transformer Specification – Wind energy converter E160 EP5 E2 5500 kW  
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-SP045-S1 E-160 EP5 E2 5500 kW  
Rev. -, Datum: 30.01.2020

- [1.11.23] J. Schneider Elektrotechnik  
Data sheet / Outline drawing – Transformer HPNW 6500A-2034T12001  
Dateiname: 782984 JS Trafo 6,5 33;0,69 KF L 50Hz n5 ±2x5 V1  
Rev. -; Datum: 06.10.2020
- [1.11.24] J. Schneider Elektrotechnik  
Test certificate – Three phase transformer HPNW 6500A-2034T12001  
Dokumenten-Nr.: 100011920  
Rev. -, Datum: 03.12.2020
- [1.11.25] J. Schneider Elektrotechnik  
Data sheet / Outline drawing – Transformer HPNW 6500A-2035T10001  
Dateiname: 780149 JS Trafo 6,5 10;0,69 KF L E 50Hz n5 +4x2,5 V1  
Rev. -, Datum: 12.11.2020
- [1.11.26] ENERCON  
Transformer inside nacelle 6,2 / 6,5MVA  
Dateiname: D0962785\_5.1  
Rev. -, Datum: 05.05.2021
- [1.11.27] Siemens AG Österreich  
Technical data sheet - TDU-653A03W6N-TU  
Dokumenten-Nr.: D02276646\_0.0  
Rev. 0, Datum: 25.01.2021
- [1.11.28] Siemens AG Österreich  
Technical data sheet - TDU-653A03W6N-TU  
Dokumenten-Nr.: D02375306\_1.0  
Rev. 4, Datum: 30.05.2022
- [1.11.29] Siemens AG Österreich  
Outline Plan - 6500 kVA - 33.00 / 0.69kV  
Dokumenten-Nr.: D02693346\_0.0 (Dwg.-No.: 246948078)  
Rev. 2, Datum: 16.03.2022
- [1.11.30] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
Heatrun Test – TDU-653A02S6A-TU  
Dokumenten-Nr.: D02691303\_0.0  
Rev. -, Datum: 28.07.2021
- [1.11.31] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
Impulse Test – TDU-653A02S6A-TU  
Dokumenten-Nr.: D02691347\_0.0  
Rev. -, Datum: 29.07.2021

- [1.11.32] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
Partial Discharge measurement – TDU-653A02S6A-TU  
Dokumenten-Nr.: D02691303\_0.0  
Rev. -, Datum: 29.07.2021
- [1.11.33] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
Noise level measurement (1) – TDU-653A02S6A-TU  
Dokumenten-Nr.: D02691324\_0.0  
Rev. -, Datum: 29.07.2021
- [1.11.34] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
Noise level measurement (2) – TDU-653A02S6A-TU  
Dokumenten-Nr.: D02691344\_0.0  
Rev. -, Datum: 29.07.2021
- [1.11.35] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
Zero sequence – TDU-653A02S6A-TU  
Dokumenten-Nr.: D02691359\_0.0  
Rev. -, Datum: 29.07.2021
- [1.11.36] Siemens Energy Austria GmbH – Transformers Weiz  
EG-Konformitätserklärung / EC Declaration of Conformity  
TDU-653A03S6A-TU / 6500 kVA / 33 kV  
Dokumenten-Nr.: D02693367\_0.0  
Rev. -, Datum: 22.12.2021
- [1.11.37] SBG  
Technical specification VEY21000 - DST 6200 H/30  
Dokumenten-Nr.: D02355255\_0.0  
Rev. -, Datum: 27.04.2021
- [1.11.38] SBG  
Outline drawing – DST 6500  
Dokumenten-Nr.: D02693546\_0.0 (Dwg.-No.: EG5502\_D)  
Rev. -, Datum: 28.01.2022
- [1.11.39] SBG  
Rating plate - DST 6500 H/20  
Dateiname: 2795279\_621704\_rating plate  
Rev. -, Datum: 08.06.2022 (erhalten)
- [1.11.40] SBG  
Test Report – Routine Test - DST 6500 H/20  
Dateiname: 2795279\_621704\_Routineprüfung  
Rev. -, Datum: 03.06.2021

[1.11.41] SBG

Test Report – Test of temperature-rise - DST 6500 H/20  
Dateiname: 2795279\_621704\_heat run  
Rev. -, Datum: 02.06.2021

[1.11.42] SBG

Test Report – Lightning Impulse - DST 6500 H/20  
Dateiname: 2795279\_621704\_LI  
Rev. -, Datum: 01.06.2021

[1.11.43] SBG

Test Report – Partial Discharge - DST 6500 H/20  
Dateiname: 2795279\_621704\_PD  
Rev. -, Datum: 02.06.2021

[1.11.44] SBG

Test Report – Lightning Impulse - DST 6500 H/20  
Dateiname: 2795279\_621704\_LI  
Rev. -, Datum: 01.06.2021

[1.11.45] SBG

Declaration of Conformity – DST 6500 /H42  
Dokumenten-Nr.: D02695019\_0.0  
Rev. -; Datum: 07.12.2016

## **1.12 Mittelspannungsschaltanlage**

[1.12.1] Lagerwey Wind BV

LP4 Protection Settings for MV Switchgear  
Dokumenten-Nr.: M17-C2-40-050154-R1  
Rev. R1, Datum: 26.07.2017

[1.12.2] Siemens AG

Installation and Operating Instructions Medium-Voltage Switchgear Typ 8DJH  
Dokumenten-Nr.: 500-8384.9  
Rev. 06, Datum: 10.08.2011

[1.12.3] Siemens AG

Technical Description 8DJH  
Dokumenten-Nr.: 8DJH-176373  
Rev. -, Datum: 20.01.2017

[1.12.4] Siemens AG

Single Line Diagram 8DJH  
Dokumenten-Nr.: 8DJH-176373  
Rev. -, Datum: 20.01.2017

- [1.12.5] Siemens AG  
Circuit Diagram 8DJH Switchgear 24,0kV  
Dokumenten-Nr.: 4509066258  
Rev. -, Datum: 13.02.2016
  
- [1.12.6] Lagerwey Wind BV  
LP4 for MV Switchgear Siemens 8DJH 24 kV RL500 Purchase Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050231-R0  
Rev. R0, Datum: 13.06.2018
  
- [1.12.7] Siemens AG  
Circuit Diagram 8DJH RL SIPROTEC 5  
Dokumenten-Nr.: 946990-000010  
Rev. -, Datum: 17.09.2018
  
- [1.12.8] Siemens AG  
Routine test report 8DJH Endausbau – PSIII.3  
Dokumenten-Nr.: 000000946990-000010-0060-0002-0001  
Rev. -, Datum: 16.10.2018
  
- [1.12.9] Siemens AG  
Routine test report 8DJH Endausbau – PSIII.1  
Dokumenten-Nr.: 000000946990-000020-0060-0002-0001  
Rev. -, Datum: 15.10.2018
  
- [1.12.10] Siemens AG  
Test Certificate 7SJ82  
Seriennummer: BM1809004418  
Rev. -, Datum: 17.09.2018
  
- [1.12.11] Siemens AG  
Test Certificate 7SJ82  
Seriennummer: BM1809007373  
Rev. -, Datum: 24.09.2018
  
- [1.12.12] Lagerwey Wind BV  
LP4 / EP5 MV Switchgear Specification  
Dokumenten-Nr.: M17-C5-30-050306-R0  
Rev. 0, Datum: 16.07.2019
  
- [1.12.13] Ormazabal  
Technische Beschreibung cgm.3  
Dokumenten-Nr.: CA-112-EN-1501  
Rev. -, Datum: 15.08.2019 (empfangen)

- [1.12.14] Ormazabal  
Zeichnung cgm.3  
Dokumenten-Nr.: P019314  
Dateiname: 170258 SLD Schaltanl. CGM.3 2K 1LSV V3  
Rev. -, Datum: 28.11.2017
  
- [1.12.15] Ormazabal  
Schaltplan  
Dokumenten-Nr.: E08354  
Dateiname: 170258 SLD Schaltanl. CGM.3 2K 1LSV V3  
Rev. 01, Datum: 23.11.2017
  
- [1.12.16] Ormazabal  
Schaltplan  
Dokumenten-Nr.: E07106  
Rev. 02, Datum: 07.09.2016
  
- [1.12.17] Kema  
Report of Performance TIC 2417-11; cgm.3 L  
Seriennummer: 3621-1092  
Rev. -, Datum: 02.02.2011
  
- [1.12.18] Kema  
Test Report 31009211GB; cgm.3-V  
Seriennummer: 31009211-M3  
Rev. -, Datum: 22.12.2010
  
- [1.12.19] Siemens AG  
Circuit diagrams 8DJH 20kV Standard Switchgear (RRL)  
Dateiname: 95434 sld switchgear 8DJH RRL2 V3 eng.pdf  
Rev. -, Datum: 08.09.2009
  
- [1.12.20] Siemens AG  
Circuit diagrams 8DJH Switchgear 20kV- RRRL SWE LARREITER POLDER  
Dokumenten-Nr.: 30138862  
Rev. -, Datum: 08.09.2009
  
- [1.12.21] Siemens AG  
Circuit diagrams 8DJH Switchgear 24kV- 4 x RL2 - 806023-000010  
Dokumenten-Nr.: 0030175687  
Rev. -, Datum: 14.10.2010
  
- [1.12.22] Siemens AG  
Circuit diagrams 8DJH Switchgear 24kV- RV - 15 x RRL2 20kA - 133019  
(846693-000010), Dokumenten-Nr.: 0030256881  
Rev. -, Datum: 15.04.2013

- [1.12.23] ENERCON  
Specification – V6 medium voltage switch gear  
Dokumenten-Nr.: D1015798-0  
Rev. 0.2, Datum: 23.09.2021
  
- [1.12.24] Ormazabal velatia  
Circuit diagrams – V6 CGM3  
Dokumenten-Nr.: E09288  
Rev. 03, Datum: 19.05.2021
  
- [1.12.25] Ormazabal velatia  
Circuit diagrams – V6 CGM3  
Dokumenten-Nr.: E09306  
Rev. 03, Datum: 19.05.2021
  
- [1.12.26] Siemens AG  
Circuit diagrams - ENERCON RV - 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6  
Dokumenten-Nr.: 0030503224 / 10  
Rev. A, Datum: 13.01.2021
  
- [1.12.27] Siemens AG  
Technische Beschreibung – Gasisolierte, metallgekapselte  
Mittelspannungsschaltanlage – 8DJH-318952  
Dokumenten-Nr.: 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6 (SAP 790366)  
Rev. -, Datum: 20.04.2022
  
- [1.12.28] Siemens AG  
Anlagenspezifikation – 8DJH-318952  
Dokumenten-Nr.: D02188924\_0.0  
Rev. 11.08.16, Datum: 07.12.2020
  
- [1.12.29] Siemens AG  
Katalog HA 40.2 Mittelspannungsschaltanlagen Typ 8DJH  
Dokumenten-Nr.: D02665937\_0.0  
Rev. -, Datum: 2017
  
- [1.12.30] Siemens AG  
Circuit Diagram – 8DJH Switchgear 24,0 kV  
ENERCON RV – 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6  
Dokumenten-Nr.: D02188927\_1.0  
Rev.-, Datum: 02.09.2019
  
- [1.12.31] Siemens AG  
Declaration of Conformity for Medium Voltage Switchgear 8DJH  
Dokumenten-Nr.: D02709316\_0.0  
Rev. -, Datum: 11.01.2022

- [1.12.32] Siemens AG  
Prüfbescheinigung 8DJH  
Dokumenten-Nr.: D02522702\_0.0  
Rev. -, Datum: 11.03. 2021
- [1.12.33] Ormazabal  
General Instructions cgm.3  
Dokumenten-Nr.: IG-136-EN  
Rev. 13, Datum: 23.04.2020
- [1.12.34] Ormazabal  
Technical description cgm.3  
Dokumenten-Nr.: D02375302\_0.0  
Rev. -, Datum: 11.04.2022 (erhalten)
- [1.12.35] T&D Eurpoe  
T&D Europe WG4 – Position Paper on EU Directives  
Document- No.: D02709318\_0.0  
Rev. July 2021, Datum: 11.04.2022 (erhalten)

### **1.13 Mitgeltende Unterlagen**

- [1.13.1] Lagerwey Wind BV  
Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-10480-R12  
Rev. R12, Datum: 13.07.2021
- [1.13.2] Lagerwey Wind BV  
Description operation and safety system  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050022-R8  
Rev. R8, Datum: 14.04.2017
- [1.13.3] Lagerwey Wind BV  
LP4 Safety System Components  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050196-R2  
Rev. R2, Datum: 09.07.2019
- [1.13.4] Lagerwey Wind BV  
L136 P4500 T132 BLM AW8.5 TI16.0 Parameters for CS and SS relevant to  
loadset and shutdown  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050154-R0  
Rev. R0, Datum: 01.12.2016
- [1.13.5] Lagerwey Wind BV  
L136 4.5MW pars Default  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050155-R0  
Rev. R0, Datum: 16.05.2017

- [1.13.6] Lagerwey Wind BV  
MEMO Assessment Remarks  
Dateiname: Assessment remarks comments 27-6-2017.docx  
Rev. -, Datum: 27.06.2017.
- [1.13.7] Lagerwey Wind BV  
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-24  
Dateiname: Assessment remarks comments - AP - 2017-07-24.docx  
Rev. -, Datum: 24.07.2017
- [1.13.8] Lagerwey Wind BV  
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-26  
Dateiname: Assessment remarks comments - 2017-07-26.pdf  
Rev. -, Datum: 26.07.2017
- [1.13.9] Lagerwey Wind BV  
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-27  
Dateiname: Assessment remarks comments - 2017-07-27.pdf  
Rev. -, Datum: 27.07.2017
- [1.13.10] Lagerwey Wind BV  
MEMO Assessment Remarks – comments 2017-07-28  
Dateiname: Assessment remarks comments - 2017-07-28.pdf  
Rev. -, Datum: 28.07.2017
- [1.13.11] Bureau Veritas  
Design Evaluation Conformity Statement LM 71.8 P  
Dokumenten-Nr.: 180003-CS-DE-01-0  
Rev. -, Datum: 30.03.2018
- [1.13.12] Lagerwey Wind BV  
L147 P4300 T132M BLM AW8.5 TI16.0 Parameters for CS and SS relevant to  
loadset and shutdown  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050232-R0  
Rev. R0, Datum: 25.10.2018
- [1.13.13] TÜV NORD CERT GmbH  
Evaluation Report Wind Turbine Platform LP4 – Design Basis  
TÜV NORD Report Nr.: 8114242475 – 0 E I, Rev. 10, Datum: 27.04.2022
- [1.13.14] Lagerwey Wind BV  
LP4 Description operation and safety system  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050219-R0  
Rev. R0, Datum: 05.12.2018

- [1.13.15] TÜV NORD CERT GmbH  
Evaluation Report Wind Turbine Lagerwey LP4 Platform  
Electrical Equipment and Lightning Protection  
TÜV NORD Report Nr.: 8114242475 – 5 E, Rev. 12, Datum: 15.07.2022
- [1.13.16] Lagerwey Wind BV  
Begründung der L136-Nennleistungspegel  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-000626-R0  
Rev. -, Datum: 14.01.2020
- [1.13.17] Lagerwey Wind BV  
EP5 Safety System Components  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-30-050338-R0  
Rev. 0, Datum: 04.02.2020
- [1.13.18] Lagerwey Wind BV  
EP5 Description Operation and Safety System  
Dokumenten-Nr.: M00-C2-40-050302-R0  
Rev. R0, Datum: 15.01.2020
- [1.13.19] ENERCON  
Wartungsanleitung (Hauptwartung) –E-160 EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: D02406226/0.0-de  
Rev. 0, Datum: 23.06.2021
- [1.13.20] ENERCON  
Inbetriebnahmeanleitung (300h-Wartung) – E-160 EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: D02408552 0  
Rev. 0, Datum: 28.06.2021
- [1.13.21] ENERCON  
Technical Description – FRT (Fault-Ride through) Functions E-160 EP5 E3  
Dokumenten-Nr.: D02522709/1.0-en  
Rev. 1, Datum: 26.10.2021
- [1.13.22] Lagerwey Wind BV  
L160 wind turbine baseline controller – Functional description  
Dokument-Nr.: M00-C2-40-050442-R0  
Rev. R0, Datum: 24.03.2022
- [1.13.23] ENERCON  
E-Mail, WG: Fragen aus der Typenprüfung E-160 EP5 E3  
Datum E-Mail: 04.08.2022, 12:56 h von Harald Wegmann (ENERCON)
- [1.13.24] ENERCON  
E-Mail, AW: 2021-0042 Rev.2: ENERCON E-160 EP5 E3: E-System Updates +  
Insulation Study  
Datum E-Mail: 09.08.2022, 12:13 h von Tim Keller (ENERCON)

[1.13.25] ENERCON

E-Mail, WG: ENERCON E-160 EP5 E2/E3 – Update Generator  
Datum E-Mail: 06.10.2022, 13:47 h von J. Janssen (ENERCON)

[1.13.26] ENERCON

E-Mail, AW: [2022-0042] - ENERCON E-160 EP5 E3 - LVD Anpassung  
Datum E-Mail: 18.01.2023, 15:36 h von M. Hempel (ENERCON)

## **2 Angewandte Normen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen  
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,  
Fassung Oktober 2012
- [2.2] IEC 61400-22:2010  
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung
- [2.3] DIN EN 61400-1:2005 +A:2010 (Dritte Ausgabe)  
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen
- [2.4] IEC 60034-1:2010  
Drehende elektrische Maschinen - Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- [2.5] EN 60204-1:2005, modifiziert  
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -  
Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [2.6] DIN EN 61800-5-1:2008  
Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl  
Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – Elektrische, thermische und  
energetische Anforderungen
- [2.7] DIN EN 61800-3:2012  
Drehzahlveränderlicher elektrische Antriebe  
Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren
- [2.8] DIN EN 61400-24:2011  
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.9] IEC 62305 Serie  
Blitzschutz
- [2.10] DIN EN 60076-1:2012  
Leistungstransformatoren - Teil 1: Allgemeines

- [2.11] IEC 62271-200:2011  
Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen  
Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für  
Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV
- [2.12] DIN 18014:2014-03  
Fundamenterder - Planung, Ausführung und Dokumentation
- [2.13] DIN EN IEC 61400-1: 2019-12 (Vierte Ausgabe)  
Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen

### **3 Einleitung**

In der DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) Richtlinie [2.1] werden keine direkten Anforderungen an den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme entsprechend IEC 61400-22 [2.2] die Anforderungen der IEC 61400-1 (Ed. 3) [2.3] und IEC 61400-1 (Ed.4) [2.13] als Prüfgrundlage definiert.

Die ENERCON EP5 Plattform wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-1 überprüft. Die Ergebnisse dieser Überprüfung sind im TÜV NORD Zertifizierungsbericht [1.13.15] zusammengefasst. Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme für die ENERCON (Lagerwey) LP4 / EP5 Plattform wurde auf Basis dieses Zertifizierungsberichtes erstellt.

Auf Basis der von ENERCON übermittelten Dokumente haben wir das elektrische System und den Blitzschutz auf Einhaltung der Anforderung der IEC 61400-1 geprüft. Für den Blitzschutz von Windenergieanlagen (WEA) wurden die IEC 61400-24 [2.8] und IEC 62305 [2.9] berücksichtigt.

## 4 Beschreibung der elektrischen Hauptkomponenten

Die Prüfung des elektrischen Systems und des Blitzschutzes beinhaltet die folgenden WEA [1.1.1], [1.1.2]:

WEA- Varianten Nr.	WEA	Frequenz	Nenn- leistung	Turm / Nabenhöhe	Rotordurch- messer / Rotorblatt	Umgebun- gsbeding- ung
1	<b>Lagerwey</b> L136 / E-136	50 Hz	4.5 MW	Stahl <sup>1</sup> / 132 m, 109 m	136 m / LM 66.5 P	STW
2	<b>Lagerwey</b> L147 / E-147	50 Hz	4.3 MW	Stahl <sup>1</sup> / 109 m, 126 m, 132 m, 155 m	147 m / LM 71.8 P	STW
3	<b>Lagerwey</b> L136 / E-136	50 Hz	4.65 MW	Stahl <sup>1</sup> / 132 m, 109 m, 155 m	136 m / LM 66.5 P	STW
4	<b>Lagerwey</b> L160 E1 / E1 E-160 (Prototyp <sup>2</sup> )	50 Hz	4.6 MW	Stahl <sup>1</sup> / 120 m, 166 m	160 m / LM 78.3 P	STW
5	<b>Lagerwey</b> L147 E2 / E-147 E2	50 Hz	5.0 MW	Stahl <sup>1</sup> / 126 m, 155 m	147 m / LM 71.8 P	STW
6	<b>Lagerwey</b> L160 E2 / E-160 E2	50 Hz	5.5 MW	Stahl / 120m, 140 m, 143 m, 166 m	160 m / LM 78.3 P	STW
7	<b>ENERCON</b> E-160 EP5 E3	50 Hz	5.56 MW	Stahl, Hybrid / 98 m, 99 m, 100 m, 114 m, 120 m, 135 m, 166 m	160 m / LM 78.3 P	STW

Tabelle 4.1: WEA Konfigurationen der ENERCON EP5 Plattform

### 4.1 Design Basis

Die Design Basis [1.13.1] wurde von ENERCON vorgelegt. Das elektrische System sowie der Blitzschutz der L136, L147, L160 und E-160 EP5 E3 werden darin erwähnt. Aus den eingereichten Unterlagen geht hervor, dass das elektrische System und der Blitzschutz der ENERCON EP5 Plattform in Übereinstimmung mit der Design Basis ausgelegt sind.

### 4.2 Klimatische Bedingungen

Die ENERCON EP5 Plattform ist für die folgenden klimatischen Bedingungen spezifiziert [1.13.1]:

Version:	Betriebstemperaturbereich:	Auslegungstemperatur:
Standard Weather Edition (STW)	-10 °C bis 40 °C	-20 °C bis 50 °C

Tabelle 4.2: Temperaturbereich ENERCON EP5 Plattform

<sup>1</sup> Alternativ Modular Steel Tower

<sup>2</sup> Diese Anlagenkonfiguration besteht als Prototypversion und ist von ENERCON nicht für die Serienproduktion bestimmt [1.13.24].

Die maximale Installationshöhe der EP5 Plattform ist von ENERCON nicht definiert. Für die Evaluierung des elektrischen Systems wurde die Standardhöhe von 1000 m über NN berücksichtigt.

### 4.3 Komponenten Beschreibung

Die elektrischen Eigenschaften der Hauptkomponenten sind:

#### 4.3.1 Generator

Hersteller:	<b>Lagerwey</b>	
Typ:	LW 5600-4300	
WEA Variante:	1, 2, 3	
Prinzip:	permanent-magnet synchron	
Nennscheinleistung:	6366 kVA	6081 kVA
Nennspannung:	717 V <sup>3</sup>	672 V <sup>3</sup>
Nennstrom:	2*2565 A	2*2611 A
Nenndrehzahl:	11,0 min <sup>-1</sup>	10,28 min <sup>-1</sup>
max. Drehzahl	14,0 min <sup>-1</sup>	14,0 min <sup>-1</sup>
Frequenz:	12,1 Hz	11,308 Hz
Isolationsklasse:	F	
Anzahl der Pole:	66	
Schutzart:	IP54	
Kühlungsart:	Luft	
Max. Installationshöhe:	1000 m	
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 40 °C	

---

3 Über den Vollumrichter erfolgt eine aktive Regelung der Spannung.

Hersteller:	<b>ENERCON</b>	
Typ:	EP5-GU-E160-E1	E-147 E2 EP5-GU-01
WEA Variante:	4	5
Prinzip:	permanent-magnet synchron	
Nennscheinleistung:	6226 kVA	6292 kVA
Nennspannung:	720 V <sup>3</sup>	738,2 V
Nennstrom:	4996 A	16*307,6 A
Nenndrehzahl:	9,3 min <sup>-1</sup>	
max. Drehzahl	11,16 min <sup>-15</sup>	
Frequenz:	13,64 Hz	
Isolationsklasse:	F	
Anzahl der Pole:	176	
Schutzart:	IP54	
Kühlungsart:	Luft	
Max. Installationshöhe:	bis zum 2500 m (mit de-rating)	1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-	-15 °C bis 40 °C <sup>6</sup>

Hersteller:	<b>ENERCON</b>		
Typ:	E-160 <b>E2</b> EP5-GU-01	E-160 <b>E3</b> EP5-GU-01	E-160 <b>E3</b> EP5-GU-02 <sup>7</sup>
WEA Variante:	6	8	7
Prinzip:	permanent-magnet synchron		
Nennscheinleistung:	6958 kVA	6958 kVA	7089 kVA
Nennspannung:	741,7 V	741.7 V	755.2 V
Nennstrom:	16*338,5 A	16*338,5 A	16*338,8 A

4 Der Generator EP6-GU-160-E1 ist für keine WEA Variante freigegeben, aufgrund von fehlenden Informationen. Dieser Generator wurde von ENERCON in Konfiguration 4 als Prototyp eingesetzt [1.13.24]].

5 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 [1.13.25] abgeleitet.

6 Ab 20° C arbeitet der Generator mit einer De-rating-Strategie [1.2.12]

7 Der Generator E-160 E3 EP5-GU02 ist bis auf kleine mechanische Änderungen identisch mit E-160 E2 EP5-GU01 [1.13.25].

8 Der Generator E-160 E3 EP5-GU01 ist ein Prototyp für die WEA-Variante 7 und identisch mit E-160 E2 EP5-GU-01, abgesehen von Änderungen am Statorgrundrahmen [1.13.25].

Nenndrehzahl:	9,4 min <sup>-1</sup>	9,4 rpm	9,6 rpm
max. Drehzahl	11,28 min <sup>-1 5</sup>	11,28 min <sup>-1 5</sup>	11,52 min <sup>-1 5</sup>
Frequenz:	13,787 Hz	13,787 Hz	14,08 Hz
Isolationsklasse:	F		
Anzahl der Pole:	176		
Schutzart:	IP54		
Kühlungsart:	Luft		
Max. Installationshöhe:	bis zum 1000 m		
Betriebstemperaturbereich:	-15 °C bis 40 °C <sup>9</sup>		
Zugehörige Dokumentation:	[1.2.15] - [1.2.19]	[1.2.16]-[1.2.20], [1.13.25]	

#### 4.3.2 Umrichter

Hersteller:	<b>ABB</b>		
Typ:	IGBT Vollumrichter		
Bezeichnung:	ACS880-87LC-8000A/6144A-7	ACS880-87CC-5200A/4800A-7	ACS880-77CC-6880A/5500A-7
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3, 4, 5	7
Nennleistung (Netzseite):	6608 kW	5163 kW	5916 kW
Nennscheinleistung (Netzseite):	7342 kVA	5737 kW	6573 kVA
Leistungsfaktor (cos φ):	0,9	0,9	0,9
Nennspannung (Netzseite):	3 ~ 690 V AC	3 ~ 690 V AC	3 ~ 690 V AC
Nennstrom (Netzseite):	6144 A (3072 A / Modul)	4800 A (2400 A / Modul)	5500 A (2750 A / Modul)

<sup>9</sup> Ab 20° C arbeitet der Generator mit einer De-rating-Strategie [1.2.15]

Nennspannung (Maschinen- seite):	3 ~ 0...690 V	3 ~ 0...690 V	3 ~ 0...690 V
Nennstrom (Maschinenseite):	8000 A (4000 A / Modul)	5200 A (2600 A / Modul)	6880 A (3440 A/ Modul)
Frequenz (Netzseite):	50 ± 5 Hz / 60 ± 5 Hz	50/60 Hz ± 5 Hz	50/60 Hz ± 5 Hz
Schutzart:	IP54	IP21	IP21
Max. Installations- höhe <sup>10</sup> :	1000 m	1000 m	1000 m
Betriebstem- peraturbereich:	-30 °C bis 45 °C	-30 °C bis 45 °C	-30 °C bis 45 °C
Zugehörige Dokumentation:-	-	-	[1.3.25] - [1.3.30], [1.3.31] - [1.3.33]

#### 4.3.3 Pitch System (AC) - Motor

Hersteller:	<b>KEB</b>
Bezeichnung:	7608000-4000
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Nennleistung:	19,8 kW
Nenndrehmoment:	95 Nm
Nennspannung:	_11
Nennstrom:	42,3 A
Nenndrehzahl:	2000 min <sup>-1</sup>
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	IP65
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 50 °C

<sup>10</sup> Bei Installationshöhen zwischen 1000 m bis 2000 m ü. NN. muss ein Derating entsprechend der ABB Vorgaben im Handbuch berücksichtigt werden.

<sup>11</sup> In den Herstellerdokumenten nicht angegeben

#### 4.3.4 Pitch System - Umrichter

Hersteller:	<b>KEB</b>
Bezeichnung:	19P6H2G-YLXA
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6
Versorgungsspannung:	400 V
Nennausgangsstrom:	52 A
Max. Ausgangsstrom:	83 A
Schutzart:	11
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 65 °C

#### 4.3.5 Energiespeicher

Typ:	Ultrakondensator	
Hersteller:	<b>Maxwell</b>	<b>LS Ultracapacitor</b>
Bezeichnung:	BMOD0006 E160 B02	LSUM 168R0L 0005F EA
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1, 2, 3, 4, 5
Kapazität / Blatt:	5,8 F / 3,86F <sup>12</sup>	5,8 F
Nennspannung (DC) / Blatt:	160 V	168 V
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 65 °C	-40°C bis ~65°C

#### 4.3.6 Azimut System - Motor

Hersteller:	<b>Bonfiglioli</b>	<b>Nord Drive Systems (Getriebebau Nord)</b>
Bezeichnung:	BN 132S 6 400/690-50 IP55 CLF B5 FD 50 RM SB 400 SA E3	132SP/4 BRE60 PT1000
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 6	7
Nennleistung:	3,0 kW	5.5 kW
Nennspannung:	400/690 V	380 ... 500 V

<sup>12</sup> Nennkapazität je Modul 5.8 F, je Blatt 2 x 3 Module parallel

Frequenz :	50 Hz	47 ... 63 Hz
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 60 °C <sup>13</sup>	-25 °C bis 40 °C
Zugehörige Dokumentation:	[1.6.16] - [1.6.19]	
Hersteller:	<b>Suzhou Lego Motors Co., Ltd</b>	
Bezeichnung:	AKEJ112M-6T	AKEJ112M-6R
WEA Variante:	1, 2, 3. 4, 5, 6	
Nennleistung:	3 kW	
Nennspannung:	400/690 V	
Frequenz :	50 Hz	
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 45 °C	

#### 4.3.7 Schleifring

Hersteller:	<b>Rekofa</b>	
Bezeichnung:	5031376	F 5927 D
WEA Variante:	1, 2, 3	4, 5, 6, 7
Anzahl Ringe:	24	25
Drehzahl:	0-22 min <sup>-1</sup>	
Schutzart:	IP 65	
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 55 °C	

#### 4.3.8 Transformator

Hersteller:	<b>IEO Transformatoren B.V.</b>		<b>ELTAS</b>
Bezeichnung:	T50IND	T51IND	Öl-Transformator, hermetisch

<sup>13</sup> Der Betriebstemperaturbereich der Azimutantriebe hängt vom verwendeten Getriebeöl ab. Der angegebene Temperaturbereich gilt für das Öl ISO VG 320.

			geschlossen mit Wellenwand
WEA Variante:	1, 3, 4	2, 4	1, 3, 4
Typ:		flüssigkeitsgefüllt	
Frequenz:		50 Hz	
Nennleistung:	5000 kVA	5100 kVA	5100 kVA
Nennspannung (HV):	21 kV <sup>14</sup>	21 kV <sup>14</sup>	30 kV
Nennspannung (LV):	0,69 kV	0,69 kV	0,69 kV
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	5 Stufen ± 2,5 %	± 3 x 2,5 %	±2 x 2.5 %
Kühlung:	KNAN	KNAN	KNAN
Schutzart:	IP00	IP00	IP54
Max. Installations- höhe:	1000 m	1000m <sup>15</sup>	1000 m
Betriebstempe- raturbereich:	-25 °C bis 40 °C	max. 40 °C	-25 °C bis 40 °C

Hersteller:	<b>J. Schneider Elektrotechnik</b>		
Bezeichnung:	HONW 6000A - 2018T 11001	HPNW 6500A-2034T12001	HPNW 6500A-2035T10001
WEA Variante:	5	5, 6, 7	5, 6, 7
Typ:		flüssigkeitsgefüllt	
Frequenz:		50 Hz	

<sup>14</sup> Die HV-Spannungsebene kann projektspezifisch angepasst werden.

<sup>15</sup> In Herstellerdokumentation nicht genannt, deshalb werden IEC Anforderungen gelistet

Nennleistung:	6000 kVA	6500 kVA	6500 kVA
Nennspannung (HV):	20 kV	33 kV	10 kV
Nennspannung (LV):	0,69 kV	0,69 kV	0,69 kV
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+4 x 2,5%	±2 x 5%	+4 x 2,5%
Kühlung:	KNAN	KFAF	KFAF
Schutzart:	IP 00	IP 00	IP 00
Max. Installationshöhe:	1000 m	1000 m	1000 m
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C
Zugehörige Dokumentation:	[1.11.17] - [1.11.21]	[1.7.7] - [1.7.9]	[1.7.7], [1.7.9]

Hersteller:	<b>Siemens Energy</b>	<b>SBG</b>
Bezeichnung:	TDU-653A02S6A-TU (TDU-653A03W6N-TU <sup>16</sup> )	DST 6500 H/20 (DST 6200 H/30 <sup>16</sup> )
WEA Variante:	7	7
Typ:	flüssigkeitsgefüllt	
Frequenz:	50 Hz	
Nennleistung:	6500 kVA (6200 kVA)	6500 kVA (6200 kVA)
Nennspannung (HV):	36 kV (33 kV)	33 kV
Nennspannung (LV):	0,69 kV	0,69 kV

<sup>16</sup> Transformator mit ähnlicher Bezeichnung und gleichem technischen und konstruktiven Aufbau, jedoch mit geringerer Leistung und Wicklung

Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	$\pm 2 \times 2,5\%$	$\pm 2 \times 2,5\%$
Kühlung:	KFWF	KFWF
Schutzart:	IP00	IP00
Max. Installations- höhe:	1000 m	1000 m
Betriebstempe- raturbereich:	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C
Zugehörige Dokumentation:	[1.11.27] - [1.11.36]	[1.11.37] - [1.11.45]

#### 4.3.9 Mittelspannungsschaltanlage

Hersteller:	<b>Siemens AG</b>	<b>Ormazabal</b>
Bezeichnung:	8DJH	cgm.3
WEA Variante:	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Frequenz:	50/60 Hz	50/60 Hz
Nennspannung:	24 kV <sup>14</sup>	36 kV
Nennstrom (Stromschiene):	630 A	400/630A
Schutzart		
- Panel:	IP 2X	IP 2XD
- Tank:	IP 65	IP X8
Isolationsmedium:	SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>
Max. Installationshöhe:	≤ 1000 m	≤ 2000 m
Betriebstempera- turbereich:	-25 °C bis 40 °C <sup>17</sup>	-40 °C bis 40 °C
Schutzrelais:	7SJ82	WIC1-3PE

<sup>17</sup> Der Temperaturbereich der Schaltanlage ist abhängig von der sekundären Schutzeinrichtung. Lagerwey installiert ein Siemens Siprotec 5 Schutzrelais.

Zugehörige	[1.12.27] - [1.12.32]	[1.12.33] - [1.12.35]
Dokumentation:		

#### 4.3.10 Blitzschutz

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

#### 4.3.11 Netzanschlussbedingungen [1.1.1]

WEA Variante:	1 - 7
Betriebsspannung mit Toleranz:	21 kV $\pm$ 10 % <sup>18</sup>
Betriebsfrequenz mit Toleranz:	50 Hz $\pm$ 2 Hz
Spannungsschieflast:	Max. 2 %
Netzausfall:	20 /Jahr
Dokumentation:	[1.1.1], [1.1.2], [1.1.4] - [1.1.7]

## 5 Prüfbemerkungen

### 5.1 Methode

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit, Plausibilität und Konformität zu den in Kapitel 2 aufgeführten Standards geprüft. Die geprüften Dokumente sind in Kapitel 1 aufgelistet. Weiterhin wurde die Funktionalität der elektrischen Ausrüstung mit den Schaltplänen geprüft und die korrekte Dimensionierung der elektrischen Komponenten kontrolliert.

### 5.2 Anmerkungen

5.2.1 Während der Inbetriebnahme und des ersten Starts der WEA sollten einige Tests durchgeführt werden. Unter anderem sollten die installierten Kabel auf Druckstellen geprüft werden. Des Weiteren sollten die Kabelbezeichnungen mindestens stichprobenartig überprüft werden. Diese Tests sind nur zwei Beispiele für Prüfungen, die durchgeführt werden sollten, bevor die WEA in den normalen Betrieb geht.

5.2.2 Die Konformität der Erdungsanlage des Fundamentes mit den einschlägigen Standards (DIN EN 50522, bzw. DIN 18014 für das Erdungssystem einer Hochspannungsanlage) und die Berücksichtigung der lokalen Vorschriften und

---

<sup>18</sup> Entsprechend der Schutzeinstellungen der Mittelspannungsschaltanlage

Bedingungen vor Ort sind in Form eines Berichts zu dokumentieren. Dieser soll von einem lokalen Experten erstellt und als Teil der WEA Dokumentation übermittelt werden. Lagerwey hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.

- 5.2.3 Es ist darauf zu achten, dass es im Blitzschutz- und Erdungssystem keine Unterbrechungen gibt.
- 5.2.4 Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Kabel von Nagetieren oder anderen Tieren beschädigt werden können, müssen bewehrte Kabel oder Schutzrohre verwendet werden. Bei der Verlegung von Erdkabeln ist auf eine ausreichende Verlegetiefe zu achten.
- 5.2.5 Die Erfüllung der Anforderungen der lokalen Netzbetreiber und die Einhaltung der Netzanschlusskriterien sind von Lagerwey vor der WEA-Installation zu überprüfen und nachzuweisen. Diese Nachweise sind nicht Teil der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme, sondern sind separat im Rahmen der Netzanschlussbegutachtung der WEA und der Windparks zu erbringen.
- 5.2.6 Die Inbetriebnahme der elektrischen Ausrüstung der Anlage hat entsprechend der IEC 60364-6-61 „Errichten von Niederspannungsanlagen“, Teil 6: „Prüfungen“, Kapitel 61: „Erstprüfung“ zu erfolgen. Der dafür erstellte Testbericht ist dem Betreiber der WEA als Teil der Anlagendokumentation zu übergeben.
- 5.2.7 Es sind die lokalen Vorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit zu beachten. In Deutschland sind vor allem das EMV-Gesetz sowie die Europäische EMV-Richtlinie 2014/30/EU einzuhalten.
- 5.2.8 Enercon hat hinsichtlich des Blitzschutzes der Gondel der E-160 EP5 E3 eine detaillierte Erklärung [1.13.23] eingereicht, in der dargelegt wird, dass für das hintere Ende der Gondel keine Blitzfangeinrichtung (Fangstangen) installiert werden muss. Diese Beschreibung ist in der nächsten Revision des Dokumentes [1.4.12] zu integrieren.

### **5.3 Prüfergebnis**

#### **5.3.1 Allgemeine Anforderungen an das elektrische System**

Die im Kapitel 4 aufgeführten Komponenten wurden bei der Typenzertifizierung der ENERCON EP5 Plattform der E-136, E-147, E-160, E-147 E2 und E-160 E2 bereits auf die Erfüllung der Anforderungen der DIN EN 61400-1 [2.3] und IEC 61400-22 [2.2] positiv geprüft [1.13.15]. Es gibt keine Abweichung von den allgemeinen Anforderungen an das elektrische System gemäß DIN EN 61400-1 [2.3] und DIBt 2012 [2.1].

In Revision 4 wurde die WEA Variante E-160 EP5 E3 hinzugefügt. Diese ist mit einer E-Nacelle ausgestattet. Auf der E-Nacelle sind auch die hauptelektrischen Komponenten, Umrichter, Transformator und Mittelspannungsschaltanlage installiert [1.1.6], [1.1.7]. Eine Isolationskoordinationsstudie für die E-160 EP5 E3 ist noch einzureichen [6.5]. Das elektrische System der E-160 EP5 E3 ist gemäß der IEC 61400-1 (Ed.4) [2.13] und DIBt

2012 [2.1]ausgelegt. Alle elektrotechnischen Anforderungen werden erfüllt, wenn die Auflagen [6.4] und [6.5] aus dem Kapitel 6 geschlossen sind.

- Generator

In Revision 2 wurde der Permanentmagnet-Synchrongenerator Typ EP5-GU-E160-E1 für die WEA E-160 aufgenommen. Der Generator wird von ENERCON hergestellt [1.2.6] Der EP5-GU-E160-E1 ist gemäß IEC 60034-1 [2.4] ausgelegt.

Die Typenschild-Zeichnung des Generators EP5-GU-E160-E1 einschließlich der Angaben zum Betriebstemperaturbereich wurden noch nicht eingereicht. Da der Generator bis jetzt nicht verwendet wurde (siehe Fußnote 4), haben wir dagegen keine Einwände.

In Revision 3 dieses Berichtes wurde der Permanentmagnet-Synchrongenerator Typ E-147 E2 EP5-GU-01 [1.2.12] - [1.2.14] von ENERCON für die E-147 EP5 E2 Konfiguration aufgenommen. Der E-147 E2 EP5-GU-01 ist gemäß IEC 60034-1 [2.4] ausgelegt. Die Anforderungen der IEC 61400-1 [2.3] werden erfüllt.

In Revision 9 wurden zwei weitere von ENERCON hergestellte Generatoren hinzugefügt. Der Generator E-160 E3 EP5-GU-01 ist bis auf kleinere Änderungen am Statorgrundrahmen identisch mit dem Generator E-160 E2 EP5-GU-01 und wurde als Prototyp in drei ENERCON E-160 EP5 E3 Windkraftanlagen in Hämelhausen eingesetzt. Der Generator E-160 E3 EP5-GU-02 ist ebenfalls identisch mit dem Generator E-160 E2 EP5-GU-01, mit Ausnahme kleinerer mechanischer Anpassungen und einer etwas höheren Nenndrehzahl, die die Leistung erhöht. Der Generator E-160 E3 EP5-GU-02 wird als Serienprodukt in der ENERCON E-160 EP5 E3 Turbine eingesetzt. ENERCON hat bestätigt, dass beide Generatoren elektrisch identisch mit dem bereits evaluierten Generator E-160 E2 EP5-GU-01 sind, sodass der Prüfbericht [1.2.16] sowie die Erwärmungsprüfung [1.2.19] auch für den Generator E-160 E3 EP5-GU-02 angewendet werden können [1.13.25]. Wir haben keine Einwände gegen diese Vorgehensweise.

- Umrichter

In Revision 1 dieses Berichts wurde der alternative Umrichter ACS880-87CC-5200A/4800A-7 von ABB hinzugefügt. ABB bestätigt, dass der ACS880-87CC-5200A/4800A-7 konform zu den EU-Richtlinien 2014/35/EU und 2014/30/EU ist, und die Anforderungen der EN 61800-5-1 [2.6] und EN 61800-3 [2.7] erfüllt.

In Revision 4 dieses Berichtes wurde auch der alternative Umrichter ACS880-77CC-6880A/5500A-7 von ABB hinzugefügt [1.3.27] - [1.3.29]. Eine vorläufige Version des Hardware-Manuals wurde eingereicht [1.3.26]. Die finale Version des Hardware-Manuals sollte eingereicht werden. ABB bestätigt die Konformität des ACS880-87CC-5200A/4800A-7 mit den EU-Richtlinien 2014/35/EU und 2014/30/EU gemäß EN 61800 – 5-1 und EN 61800-3 [1.3.30]. Die Prüfberichte einschließlich der Typprüfung und Entladezeit der Kondensatoren des ACS880-77CC-6880A/5500A-7 müssen noch eingereicht werden [6.4].

In Revision 8 wurden Prüfberichte ([1.3.32], [1.3.33]) für den ACS880-77CC-6880A/5500A-7 Umrichter vorgelegt. Zusätzlich wurde ein Prüfbericht zur Kondensatorentladezeit [1.3.31] für ACS880-87CC-Umrichter vorgelegt und vom Hersteller bestätigt, dass dieses Dokument aufgrund der Gleichheit der verwendeten Leistungsmodule auch für ACS880-77CC-Umrichter gilt. Aus diesem Grund wird die Auflage [6.4] geschlossen.

- Transformator

Der von Eltas hermetisch abgeschlossener mit Wellenwand Öl-Transformator (5100 kVA) [1.11.14] - [1.11.16] wurde in Revision 1 aufgenommen. Der Transformator ist nach IEC 60076 ausgelegt.

In Revision 3 dieses Berichtes wurde der flüssigkeitsgefüllte Transformator der Bezeichnung HONW 6000A - 2018T 11001 von J. Schneider Elektrotechnik hinzugefügt [1.11.18], [1.11.19]. Dieses Design entspricht der technischen Spezifikation [1.11.17] von Lagerwey. Der Transformator erfüllt die Anforderungen der Norm IEC 60076-1 [2.10].

In Revision 7 wurde der Testbericht für den Erwärmungstest des Generators E-160 E2 EP5-GU-01 hinzugefügt [1.2.19]. Es wurde gezeigt, dass dieser Generator in der Lage ist, bei einer Nennleistung von 5,5 MW bis zu 5,9 MW betrieben werden kann. Bei diesen Tests wurde der Betriebspunkt von 5,5 MW abgedeckt. Die Auflage [6.2] ist dadurch abgeschlossen.

- Mittelspannungsschaltanlage

In Revision 1 sind weitere Spezifikationen für die Mittelspannungsschaltanlage von Lagerwey in diese Revision hinzugefügt worden. Ebenso wurde alternative Mittelspannungsschaltanlage von Ormazabal [1.12.13] - [1.12.18] aufgenommen.

### 5.3.2 Kabel, Stromschienen und sonstige elektrische Einrichtungen

In Revision 9 dieses Berichts wurde eine neue Modifikation für die Niederspannungsverteilung (NSV) der E-160 EP5 E3 hinzugefügt, die zusätzlich zur aktuellen verwendeten NSV [1.10.52] eingesetzt werden kann. Diese NSV 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 mm<sup>2</sup> ([1.9.43], [1.9.44]). ENERCON hat hierzu plausible Berechnungen ([1.9.35]) sowie Prüfberichte ([1.9.39]-[1.9.42]) und weitere relevante Unterlagen ([1.9.34], [1.9.36]-[1.9.38], [1.10.53], [1.13.26]) vorgelegt. Wir haben keine Einwände gegen dieses Vorhaben.

### 5.3.3 Schutz- und Trenneinrichtungen

Die WEA der ENERCON EP5 Plattform sind mit Schutzgeräten zum Schutz der elektrischen Komponenten ausgestattet. Diese schützen die Turbine selbst sowie die

externen elektrischen Systeme im Falle einer Fehlfunktion. Die korrekte Auslegung der Schutz- und Trenneinrichtungen wurde zusammen mit der Kurzschlussstromberechnung und den Schaltplänen bereits bei der Typenzertifizierung geprüft [1.13.15].

Die Schutz- und Trenneinrichtungen erfüllen die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und DIBt 2012.

#### 5.3.4 Blitzschutz und Erdungssystem

Die WEA der ENERCON EP5 Plattform sind nach dem Gefährdungspegel LPL I gemäß IEC 61400-24 ausgelegt. Die Aufteilung in verschiedene Blitzschutzzonen ist im Dokument [1.4.1] dargestellt. Die Beschreibung ist plausibel und ausreichend.

Die WEA L136 ist mit dem Rotorblatt LM 66.5 P von LM Wind Power [1.4.2] - [1.4.4] ausgerüstet. Das LM 66.5 P ist mit dem zertifizierten Blitzschutzsystem Insulated Lightning Protection System (ILPS) [1.4.2] ausgestattet. Der Germanischer Lloyd (GL) hat die Einhaltung der Anforderungen der IEC 61400-24 für das ILPS geprüft [1.4.5], [1.4.6]. Lagerwey hat ein gültiges Komponentenzertifikat entsprechend IEC 61400-22 für das ILPS vom GL [1.4.6] vorgelegt.

Das Rotorblatt LM 71.8 P von LM Wind Power ist an der WEA L147 installiert. Bureau Veritas hat das Design des LM 71.8 P geprüft. Laut Design Evaluation Conformity Statement [1.13.11] ist auch dieses Rotorblatt mit dem zertifizierten ILPS ausgerüstet.

Die WEA L160, L160 E2, L160 E3 und L147 E2 sind mit dem Rotorblatt LM 78.3 P von LM Wind Power ausgerüstet [1.13.1]. Bureau Veritas hat das Design des LM 78.3 P geprüft [1.4.11]. Dieses Rotorblatt ist mit einem von DNV GL Renewables Certification zertifizierten ILPS nach IEC 61400-22 ausgerüstet [1.4.6].

Das Blitzschutzsystem sowie das Erdungskonzept der ENERCON EP5 Plattform wurden bereits bei der Typzertifizierung auf Einhaltung der Anforderungen der Blitzschutznormen IEC 61400-24 [2.8] und der IEC 62305 (Serie) [2.9] geprüft [1.13.15].

Das Blitzschutz- und Erdungssystem der ENERCON EP5 Plattform erfüllen die Anforderungen der DIN EN 61400-1, DIN 18014 und der DIBt 2012.

In Revision 1 dieses Bewertungsberichts wurde ein alternatives Kabel zwischen dem Mittelspannungstransformator und der Mittelspannungsschaltanlage (N2XSY von Helukabel) [1.9.13] - [1.9.14] hinzugefügt. Darüber hinaus wurde das Design des Turmfußmoduls von Lagerwey geändert. Anstelle flexiblen Kupferkabel (300 mm<sup>2</sup>) wurden Sammelschienen zwischen Umrichter und Mittelspannungstransformator [1.9.15] installiert. So wurde auch die Spezifikation des Stromkabels von Lagerwey [1.9.5] aktualisiert.

Die Revision 1 dieses Berichts enthält ebenso die elektrischen Schaltpläne der 155 m Nabenhöhe der EP5 Plattform. Die neue Nabenhöhe wurde ebenfalls in dem Stromkabelübersicht [1.9.18] berücksichtigt.

### 5.3.5 Elektrische Leiter

Die Auslegung der Leistungskabel sowie einige Kabeldatenblätter sind in den Dokumenten [1.9.1] - [1.9.12] dargestellt. Vom Generator zum Kabelloop im Turm sind flexible Leitungen (48x1x150 mm<sup>2</sup> H07BN-F 450/750V Kupfer) installiert. Das Leistungskabel im Turm ist starr (48x1x400 mm<sup>2</sup> NAYY-J/0 Aluminium). Die Verbindung vom Leistungsumrichter zum Mittelspannungstransformator ist mit 24 Kabeln (24x1x300 mm<sup>2</sup> H07BN4-F 450/750V Kupfer) hergestellt. Zwischen Transformator und Mittelspannungsschaltanlage wird das Mittelspannungskabel YMeKrvaslqwd 12/20 kV installiert.

Die Auslegung der Kabel ist plausibel und nachvollziehbar. Die Prüfung der elektrischen Leiter ergab keine Abweichungen von der DIN EN 61400-1 und der DIBt 2012.

### 5.3.6 Selbsterregung

Die WEA der ENERCON EP5 Plattform werden bei Netzausfall über den Umrichter sicher vom Netz getrennt. Damit sind die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und DIBt 2012 bezüglich Selbsterregung erfüllt.

### 5.3.7 Weitere Anmerkungen

Das Sicherheitssystem der ENERCON EP5 Plattform ist in [1.13.14] dargestellt. Die Sensoren und Aktoren des Sicherheitssystems sind korrekt in den Schaltplänen abgebildet.

In Revision 10 wurde ein Dokument mit der technischen Beschreibung der Fault-Ride-Through (FRT) Funktionen des E-160 EP5 E3 eingereicht [1.13.21]. Ein Chopper-Bremswiderstand, der die Nennwirkleistung für mindestens zwei Sekunden aufnehmen kann, ist im Design der ENERCON EP5 Plattform enthalten. Die Anforderungen der IEC 61400-1 sind erfüllt.

In Revision 12 wurde eine Isolationskoordinationsstudie für die EP5 E3 vorgelegt. Die Auflage [6.5] ist dadurch abgeschlossen.

## 6 Auflagen

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

- 6.1 Abgeschlossen – Der Generator EP5-GU-E160-E1 wird von ENERCON nicht verwendet.
- 6.2 Abgeschlossen - Für die Erstellung der TTCS der E-160 E2 muss der Wärmeprüfungsbericht des Generators E-160 E2 EP5-GU-01 vorliegen

- 6.3 Abgeschlossen - Für die Erstellung der TTCS der E-160 E2 muss der Typprüfbericht des Transformators HPNW 6500A-2035T10001 vorliegen
- 6.4 Abgeschlossen - Die Prüfberichte einschließlich Typprüfung und Entladungszeit der Kondensatoren des Umrichters ACS880-77CC-6880A/5500A-7 sind für die Erstellung der TTCS der E-160 EP5 E3 vorzulegen.
- 6.5 Abgeschlossen - Eine Isolationskoordinationsstudie ist vor der Ausstellung des TC der E-160 EP5 E3 vorzulegen.

## 7 Offene Punkte

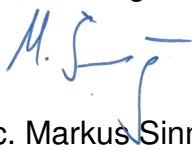
Keine

## 8 Schlussfolgerung

Das elektrische System und der Blitzschutz der E-136, E-147, E-160, E-147 E2 und E-160 E2 erfüllen die Anforderungen der IEC 61400-1 (Ed. 3) [2.3]. Das elektrische System und der Blitzschutz der E160 EP5 E3 erfüllt die Anforderungen IEC 61400-1 (Ed.4) [2.13] und somit auch die Anforderungen der DIBt 2012 [2.1], wenn die Auflagen auf dem Kapitel 6 geschlossen sind.

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

Sachverständiger:



M. Sc. Markus Sinnigen

Freigabe:



M. Sc. Holger Grafe

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 ENERCON EP5**

### **Unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen**

#### **- Rotorblatt LM 78.3 P -**

<b>TÜV NORD Bericht-Nr.:</b>	8118796497-3 D, Rev. 6
<b>Gegenstand der Prüfung:</b>	Strukturnachweis und statischer Blatttest für das Rotorblatt LM 78.3 P mit Lasten nach DIBt (2015)
<b>Anlagenhersteller:</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Dokumentation:</b>	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 TÜV 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:

	<b>LM 78.3 P Gen. B</b>	<b>LM 78.3 P Gen. C</b>
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:

<b>Nr.</b>	<b>WEA Bezeichnung</b>	<b>Blatt-variante</b>	<b>Aerodyn. Anbauteile</b>	<b>Windklasse</b>	<b>Geländeklasse</b>	<b>geprüft mit<sup>*)</sup></b>
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] <sup>1)</sup>	[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] <sup>1)</sup>	[1.2.30]

Tabelle 4.3: Abgedeckte Konfiguration

<sup>1)</sup> 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

## **Gutachtliche Stellungnahme**

### **für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON EP5**

#### **- Maschinenbauliche Komponenten -**

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

<b>Anlagenspezifikation:</b>	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	Prüfmethoden .....	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	$-10^{\circ}\text{C} < t < +40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} < t < +50^{\circ}\text{C}$

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

## 4.3 Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen

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

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

Einige der maschinenbaulichen Komponenten sind identisch mit denen der Windenergieanlagen E-160 EP5 E1/E2 und wurden den Prüfberichten [1.4.1] bzw. [1.4.2]/[1.4.3] entnommen.

### 4.3.1 Blattlager

#### 4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH  
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung  
Handelsbezeichnung: 12960552  
Material: 42CrMo4+QT  
Hauptzeichnung Nr.: KUD03355-080WJ18-001-000,  
Rev. 00.2, vom 02.12.2019  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (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	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 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 Anziehungsfaktor.

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	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 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-8121951519-100-001-03

**Datum:** 2024-01-24

<b>Gegenstand der Prüfung</b>	Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-160 EP5 E3.
<b>Prüfgrundlage</b>	[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
<b>Kunde</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Besondere Hinweise</b>	-

Zuständige(r) Sachverständige(r):	Freigegeben:
 Dipl.-Technomath. Katja Götz	 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
1	2023-12-04	Referenz [1.1.4] aktualisiert	2022-0224-11	Katja Götz
2	2023-12-06	Referenz [1.7.1] aktualisiert	2022-0224-11	Katja Götz
3	2024-01-24	Referenz [1.1.1] und [1.4.1] aktualisiert, Referenz [1.4.2] gelöscht, Besondere Hinweise sowie offene Punkte aktualisiert	2022-0224-11	Katja Götz

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GS	Gutachtliche Stellungnahme
WEA	Windenergieanlage

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Dokumente .....</b>	<b>5</b>
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 .....	5
1.6	Verkleidungen und Strukturen .....	6
1.7	Turmkopfflansch.....	6
<b>2</b>	<b>Prüfgrundlagen .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen .....</b>	<b>6</b>
4.1	Prüfmethode.....	6
<b>5</b>	<b>Hinweise, Auflagen und Bedingungen .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Offene Punkte .....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>7</b>

# 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	GS-8120863590-001-004-01	1	2024-01-11
[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	1	2023-11-29

## 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	GS-8118796497-003-001-07	7	2024-01-17

## 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	1	2023-11-15

## 2 PRÜFGRUNDLAGEN

Nr.	Autor	Titel	Rev.	Datum
[2.1.1]	Deutsches Institut für Bautechnik	DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen; Einwirkungen und Standortsicherheitsnachweise 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 E3 R1, 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 E3 R1, 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 E3 R1, Rotorblatt LM 78.3 P, Nabenhöhe 160 m  
(Turm: E-160 EP5 E3 R1-HT-160-ES-C-01)
- (4) ENERCON E-160 EP5 E3 R1, 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 geschlossen

## **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.

Die Gutachtliche Stellungnahme des Rotorblattes [1.4.1] wurde um die Anlagenkonfigurationen E-160 EP5 E3 R1 erweitert, womit O1 geschlossen werden konnte.

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,  
verschiedene NH,  
DIBt WZ S, GK S**



**- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -**



**TÜV NORD Berichtsnr.:** GS-8120863590-001-004-01

**Datum:** 2024-01-11

<b>Gegenstand der Prüfung</b>	Bestätigung der Lastannahmen
<b>Prüfgrundlage</b>	DIBt 2012, Korrigierte Fassung März 2015
<b>Kunde</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Besondere Hinweise</b>	Keine

Zuständiger Sachverständiger:	Freigegeben:
 Dipl.-Phys. Volker Smith-Nebe	 Dipl.-Ing. Nadine Scharlaug

**Herausgeber**

**TÜV NORD CERT GmbH** • Am TÜV 1 • 45307 Essen  
Phone: +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 der Titelseite ist urheberrechtlich geschütztes Material der ENERCON GmbH.

## ÄNDERUNGSHISTORIE

Rev.	Datum	Änderungen	Referenznr.	Sachverständige(r)
0	09.11.2023	Erste Fassung	2022-0084	Volker Smith-Nebe
1	2024-01-11	Aktualisierung der Blattlasten durch den Kunden/ Wechsel zum neuen Berichtsformat inkl. kleinerer redaktioneller Änderungen. Die frühere Nummer des Bewertungsberichts lautet 8120863590-1 D IV Rev.0.	2022-0224-11	Volker Smith-Nebe

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GS	Gutachtliche Stellungnahme
WEA	Windenergieanlage
EF	Eigenfrequenz

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Dokumente .....</b>	<b>5</b>
1.1	Geprüfte Dokumente .....	5
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	5
<b>2</b>	<b>Prüfgrundlagen .....</b>	<b>6</b>
2.1	Technische Regelwerke.....	6
<b>3</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Beschreibung der Windenergieanlage .....</b>	<b>7</b>
4.1	WEA-Konfigurationen .....	7
4.2	Klimatische Bedingungen .....	8
4.3	Sicherheitsklasse .....	9
4.4	Beschreibung der Anlage.....	9
<b>5</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen.....</b>	<b>12</b>
5.1	Prüfmethode.....	12
5.2	Anmerkungen .....	13
5.3	Prüfergebnisse .....	13
5.4	Schnittstellen .....	13
<b>6</b>	<b>Auflagen .....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Offene Punkte .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>14</b>

## 1 DOKUMENTE

### 1.1 Geprüfte Dokumente

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.1.1]	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.	D02772385-0.4	0.4	2023-07-14
[1.1.2]	ENERCON GmbH	2023-07-05_Load documents for Remarks 3 for Machinery Loads File Names: 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	-	-	2023-07-05
[1.1.3]	ENERCON GmbH	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	D02772386-0.3	0.3	2023-12-21
[1.1.4]	ENERCON GmbH	Load case description for Single Blade Installation and corresponding loads File Names: D02546440-E-160_EP5_Loadcase_definition for Single blade assembly.xlsx Checksum (MD5): 866682293153E3EBA45795BE4BE36C35, D02546442_0.0_de-en_Calculation_Singleblade assembly-Mx Hub loads.xlsx Checksum (MD5): 7083F42A4E40FDD447E67ABBE046C26F	-	-	2021-11-26

### 1.2 Dazugehörige Dokumente

#### Design Basis

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.1]	ENERCON GmbH	Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations	D02274524	4.0	2022-12-14

#### Design Basis (Kaltes Klima)

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.2]	ENERCON GmbH	Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen	D0666243-5	5	2021-10-22

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.3]	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
[1.2.4]	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
[1.2.5]	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 - Lastannahmen für Turm und Fundament -	8120863590-1 D V	0	2023-11-09

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.6]	ENERCON GmbH	Technical report Application and interpretation of the distributed turbulences method according to IEC 61400-1	D02385954/0.4	0.4	2021-06-22
[1.2.7]	ENERCON GmbH	Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche	D02484125-0 / ED	0	2021-09-20
[1.2.8]	ENERCON GmbH	Reglerbeschreibung E-160 EP5 E3 R1	D02779175-0.0	0.0	2022-10-13
[1.2.9]	ENERCON GmbH	Load Case Description IEC ed. 4 + DIBt 2012	D02779197/0.4	0.4	2023-03-17
[1.2.10]	ENERCON GmbH	Technical report Calculation of partial safety factors for blade and blade connection with gravitational influence according to IEC 61400-1	D02399891/0.1	0.1	2021-06-15

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

## 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.

Das ausgewertete Dokument [1.1.4] enthält die Lastfallbeschreibung für die Einzelblattmontage und die entsprechenden Lasten für dieses Installationsszenario. Diese Lasten wurden exemplarisch in R0 der Plattform E-160 EP5 E3 ausgewertet.

Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1.1] genannten technischen Anforderungen DIN EN 61400-1:2011-08 oder DIN EN 61400-1:2004-08, wurde hier DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.1.3] verwendet. Des Weiteren abweichend von den in DIBt (2012) [2.1.1] und DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.1.3] vordefinierten Standardwindklassen, Turbulenzkategorien, Umgebungsbedingungen sowie der Standardsicherheitsklasse, wurde eine Klasse S mit speziellen Parametern definiert, welche in Kapitel 4.2 und Kapitel 4.3 aufgeführt sind.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand von DIBt (2012) [2.1.1], [2.1.2] in Kombination mit DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.1.3] durchgeführt. Spezielle Vereisungsbedingungen (Icing Climate) wurden anhand der Anforderungen der DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.1.3] 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.

Mit der Revision 1 dieses Berichts hat die ENERCON GmbH die Blattlasten [1.1.3] mit einer neuen Auswertung auf Basis der Simulationen aus Revision 0 dieses Reports aktualisiert.

## 4 BESCHREIBUNG DER WINDENERGIEANLAGE

### 4.1 WEA-Konfigurationen

Diese Gutachtliche Stellungnahme gilt für die folgenden Konfigurationen von WEA:

Konfig.-Nr.	WEA Bezeichnung (inkl. ID)	Frequenz	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	Umweltbedingungen	WEA-Klasse
1	E-160 EP5 E3 R1	irrelevant	5560 kW	LM 78.3 P	99.001 m (ST-99-FB-C-01)	Normal & Icing	DIBt WZ S GK S
2	E-160 EP5 E3 R1	irrelevant	5560 kW	LM 78.3 P	99.001 m (ST-99-FB-C-02)	Normal & Icing	DIBt WZ S GK S
3	E-160 EP5 E3 R1	irrelevant	5560 kW	LM 78.3 P	119.827 m (HST-120-FB-C-01)	Normal & Icing	DIBt WZ S GK S
4	E-160 EP5 E3 R1	irrelevant	5560 kW	LM 78.3 P	166.6 m (HT-166-ES-C-01)	Normal & Icing	DIBt WZ S GK S
5	E-160 EP5 E3 R1	irrelevant	5560 kW	LM 78.3 P	160 m (HT-160-ES-C-01)	Normal & Icing	DIBt WZ S GK S

Tabelle 4.1: Abgedeckte WEA-Konfigurationen

## 4.2 Klimatische Bedingungen

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		8,5 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 %	
Longitudinale Turbulenzintensität (EWM)	11 %			
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2.0 m/s		-	
Formparameter der Weibull-Funktion k	2			
Höhenexponent $\alpha$ (für EWM)	0,2 (0,16)	0,2 (0,11)	0,2 (-)	
Upflow	8°			

Tabelle 4.2: Windbedingungen auf Nabenhöhe

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität (TI) pro Windgeschwindigkeit angenommen, siehe [1.2.6].

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 4.3 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 4.3: Bedingungen an die Luftdichte

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

Klimatische Bedingungen	Normaltemperaturbereich gemäß [2.1.3].
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 mit vereisten Blättern
Angenommene Erdbebenparameter	nicht berücksichtigt
Auslegungslebensdauer	DIBt WZ S GK S, IEC IIIA: 20 Jahre DIBt WZ S GK S, IEC S: 25 Jahre

Tabelle 4.4: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen

Alle weiteren Umgebungsbedingungen werden mit den in [2.1.1] – [2.1.3] angegebenen Standardwerten angenommen.

### 4.3 Sicherheitsklasse

Die WEA ist entsprechend der in [2.1.3] definierten Normal-Sicherheitsklasse ausgelegt.

### 4.4 Beschreibung der Anlage

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 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 von der Rotorachse, 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 rpm
Rotornenn-drehzahl $n_r$	9,6 rpm
Rotorsoll-drehzahl $n_s^1$	9,6 rpm

<sup>1</sup> Drehzahl auf die im Vollastbetrieb geregelt wird

Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $v_{in} - v_{out}^1$	2,5 – 28,0 m/s
Nennwindgeschwindigkeit $v_r$	12,0 m/s
Temperaturbereich im Produktionsbetrieb	-10 °C bis +40 °C
Reglerfunktionen	Sturmregelung Aktive Dämpfung der Turmschwingungen (längsseitig/ querseitig)
Identifikationsnummer: Anlage / Lastrechnung	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]

Tabelle 4.5: 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 4.6: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	fest eingespannt
Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]

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 die in Tabelle 4.7 angegebene Bodenfeder 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

<sup>1</sup> Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

Komponente		Randbedingungen	Frequenz
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: Ungekoppelte Komponenten-Eigenfrequenzen

Die gekoppelten Eigenfrequenzen sind grafisch im Campbell-Diagramm in [1.2.3] – [1.2.5] dargestellt.

Die Lastannahmen umfassen folgende Toleranzen und Varianten:

	Toleranzen	Bedingungen
Massenexzentrizität des Rotors	1206,5 kgm	-
Fehler des Blattanstellwinkels	±0.3°	-
1. Turmeigenfrequenz:		
Ungekoppelt, Turm, Biegung fore-aft	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]	<p>Die erste Turmeigenfrequenz im Ausgangszustand und die erste Turmeigenfrequenz im modifizierten Zustand liegen oberhalb 105 % der 1P Anregung bei Solldrehzahl.</p> <p>Alle weiteren Turmeigenfrequenzen im Ausgangszustand und im modifizierten Zustand liegen außerhalb des Intervalls [90 % – 105 %] der 3P Anregung der Solldrehzahl.</p> <p>Abweichung der 1. Turmeigenfrequenz sind unter folgenden Bedingungen zulässig:</p> <p>Die erste Turmeigenfrequenz „Weich“<sup>1</sup> (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“<sup>1</sup> um nicht mehr als 5 % erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.</p>
Ungekoppelt, Turm, Biegung side-side	Siehe [1.2.3] – [1.2.5]	

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

	Toleranzen	Bedingungen
		Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“ <sup>1</sup> darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“ <sup>1</sup> absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“ <sup>1</sup> um nicht mehr als 5 % absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
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 rpm	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 4.9: 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 [2.1.1] – [2.1.3] angegebenen Anforderungen überprüft.

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

Die Definition der Designlastfälle [1.2.9] wurde unter Berücksichtigung der Design Basis [1.2.1], [1.2.2] und des Betriebs- und Sicherheitssystems [1.2.8] auf Vollständigkeit sowie auf Konformität mit den Richtlinien [2.1.1] – [2.1.3] 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 [1.2.8] dokumentierten Regelungskonzept der Anlage wurde überprüft.

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

## 5.2 Anmerkungen

Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1.1] genannten technischen Anforderungen DIN EN 61400-1:2011-08 oder DIN EN 61400-1:2004-08, wurde hier DIN EN IEC 61400-1:2019-12 [2.1.3] verwendet.

## 5.3 Prüfergebnisse

Die in 1.1 beschriebene Vorgehensweise ist zur Bestimmung der Lasten anhand der Richtlinien [2.1.1] – [2.1.3] geeignet.

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

Der in [1.1.4] beschriebene und für die E-160 EP5 E3 exemplarisch bewertete allgemeine Ansatz der Einzelblattmontage an der Turbine E-160 EP5 E3 gilt auch für die Konfiguration [1.2.3] – [1.2.5]. Für [1.2.3] – [1.2.5] ist kein neuer Nachweis erforderlich.

## 5.4 Schnittstellen

- I1 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.
- I2 Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoordinatensystemen ausgewertet worden.
- I3 Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1.3]. Dies erfolgte bereits in der Prüfung der Turmlasten [1.2.3] – [1.2.5].
- I4 Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- I5 Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden berücksichtigt.
- I6 Diese Lastrechnung wurde unter Berücksichtigung der in Tabelle 4.5 angegebenen Anbauten und Funktionen durchgeführt. Eine Berechnung ohne diese Anbauten und Funktionen, ausgenommen den Toleranzen und Varianten aus Tabelle 4.9, ist nicht Teil dieser Prüfung.
- I7 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.
- I8 Abweichend von den Angaben in der Design Basis für Kaltes Klima [1.2.2] werden in dieser Lastrechnung die in Tabelle 4.4 dargestellten Vereisungsbedingungen berücksichtigt.
- I9 Da sich in Revision 1 dieses Berichts nur die Bewertung der Blattlasten geändert hat, bleiben die in [1.2.3] – [1.2.5] enthaltenen Lasten gültig, auch wenn in den referenzierten Dokumenten in [1.2.3] – [1.2.5] das frühere Blattlastdokument zitiert wird.

## **6 AUFLAGEN**

Keine.

## **7 OFFENE PUNKTE**

Keine.

## **8 ZUSAMMENFASSUNG**

Als Ergebnis der Prüfung in Kapitel 5 wird festgestellt, dass das in Kapitel 4 beschriebene Produkt die Anforderungen des technischen Regelwerkes nach [2.1.1] – [2.1.3] im Rahmen des Anwendungsbereichs dieses Berichts erfüllt. Die Kapitel 6 und 7 sind zu berücksichtigen.

**- 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.1

**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
1	29.11.2023	Revisionierung des Zertifizierungslastberichts Turm 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. 1.6, Datum: 24.11.2023
- [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.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde die Revision des Zertifizierungslastberichts Turm [1.1.1] auf 1.6 angepasst.

### 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 $\alpha$ (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 Nabhöhe

	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: $k_{\phi,dyn}$	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 0 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 0 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 Berechnungskoordinatensystemen 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**

**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 getriebeles, mit einem direkt angetriebenen Generator. Das Hauptbremsssystem 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	
	98 m, 99 m		Hybrid Stahlurm (HST) 114 m

Typ	E-160 EP5 E3 R1		
Drehzahlgrenze Betriebsführung (n <sub>4</sub> ) [U/min]	11.52	11.52	11.52
Drehzahlgrenze Sicherheitssystem (n <sub>A</sub> ) [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**

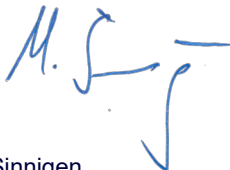

**- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -**



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

**Datum:** 2023-10-04

<b>Umfang der Bewertung</b>	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.
<b>Zertifizierungssystem</b>	IEC 61400-22 IEC 61400-1 (4th Ed.) IECRE OD 501-7
<b>Kunde</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Germany

<b>Zuständige(r) Sachverständige(r):</b>	<b>Freigegeben:</b>
 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

<b>1</b>	<b>Dokumente .....</b>	<b>6</b>
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
<b>2</b>	<b>Angewandte Normen .....</b>	<b>15</b>
2.1	Zertifizierungsprogramm .....	15
2.2	Produkt- / technische Anforderung .....	15
<b>3</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Beschreibung der Windenergieanlage/Komponente .....</b>	<b>16</b>
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
<b>5</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen .....</b>	<b>24</b>
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 $\pm 10 \%$ <sup>1</sup>
Normale Netzfrequenz und -bereich:	50 Hz $\pm 2$ Hz
Spannungsasymmetrie:	max. $\pm 2 \%$
Max. Dauer von Stromnetzausfällen	$\leq 2$
Netzausfälle:	20 / Jahr
Anzahl der Ausfälle des Stromnetzes:	$\leq 2$

#### 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 <sup>-1</sup>
Max. Drehzahl:	11,52 min <sup>-1</sup>
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].

<sup>1</sup> Entsprechend den Schutzeinstellungen der Mittelspannungsschaltanlage

<sup>2</sup> 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<sup>-1</sup>  
Max. Drehzahl: 11,28 min<sup>-1</sup>  
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<sup>-1</sup>  
Max. Drehzahl: 11,52 min<sup>-1</sup>  
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:	SF <sub>6</sub>
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:	SF <sub>6</sub>
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 <sup>-1</sup>
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<sup>-1</sup>  
 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 <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
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 mm<sup>2</sup> S-3GSHOEU Kupfer) vom Generator zum Umrichter verlegt [1.11.1], [1.11.9]. Vom Umrichter zum Transformator werden flexible Kabel (48x1x300 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> (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 mm<sup>2</sup> ([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 mm<sup>2</sup> Aluminiumkabel [1.11.29] oder 24 1x500 mm<sup>2</sup> 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 Berichtsnr.:** GS-8118796497-003-001-07

**Datum:** 2024-01-17

<b>Gegenstand der Prüfung</b>	Strukturnachweis und statischer Blatttest für das Rotorblatt LM 78.3 P
<b>Prüfgrundlage</b>	DIBt 2012, Korrigierte Fassung März 2015
<b>Kunde</b>	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
<b>Besondere Hinweise</b>	-

Zuständige(r) Sachverständige(r):	Freigegeben:
 Moritz Bätge	 Martin Passow

**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 der Titelseite ist urheberrechtlich geschütztes Material der ENERCON GmbH.

## ÄNDERUNGSHISTORIE

Rev.	Datum	Änderungen	Referenznr.	Sachverständige(r)
0	2021-01-21	Erste Fassung	-	Malte Polster
1	2021-03-03	140 m Nabenhöhe ergänzt; Handbuch [1.2.51] hinzugefügt; Redaktionelle Änderungen	-	Malte Polster
2	2021-05-17	Konfiguration 2 und 3 aufgenommen; Dokumente [1.2.1] und [1.2.2] aktualisiert; Dokumente [1.2.4] und [1.2.20] - [1.2.28] hinzugefügt	-	Moritz Bätge
3	2021-05-18	Lasten der Konfiguration 3 aktualisiert: [1.2.21],	-	Moritz Bätge
4	2021-11-01	LM 78.3 P Gen. C und Konfiguration 4 hinzugefügt; Dokumente aktualisiert[1.2.1], [1.2.2] & [1.2.27]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.5], [1.2.6], [1.2.14], [1.2.29] - [1.2.31], [1.2.47], [1.2.50], [1.2.52] & [1.2.56]; Redaktionelle Änderungen	2021-0042 Rev.1	Malte Polster
5	2021-11-01	Konfigurationen 5 und 6 mit Blattvariante LM 78.3 P Gen. C hinzugefügt; Anerkannte Regelwerke [2.2.3] - [2.2.7] hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.18], [1.2.30], [1.2.31]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.7], [1.2.8], [1.2.32] - [1.2.34], [1.2.57], [1.2.58]; WEA Bezeichnung für die Konfigurationen 1 - 3 angepasst; Redaktionelle Änderungen	2021-0042N	Sasa Stojkovic
6	2023-01-06	Konfigurationen 7 und 8 mit Blattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.30], [1.2.31], [1.2.53]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.9] - [1.2.11]; [1.2.35] - [1.2.40], [1.2.59], [1.2.60]; Redaktionelle Änderungen	2021-0042N	Sasa Stojkovic
7	2024-01-16	Konfigurationen 9 bis 13 mit Blattvariante LM 78.3 P Gen. C hinzugefügt; Dokumente aktualisiert: [1.2.1], [1.2.2], [1.2.5], [1.2.7], [1.2.14] und [1.2.55]; Dokumente hinzugefügt: [1.2.12] und [1.2.41] - [1.2.45] und [2.2.4]; Neue Berichtsvorlage verwendet; Vorhergige Berichtsnr.: GS 8118796497-3 D, Rev. 6; Redaktionelle Änderungen	2022-0024	Moritz Bätge

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GS	Gutachtliche Stellungnahme
WEA	Windenergieanlage

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Dokumente .....</b>	<b>5</b>
1.1	Geprüfte Dokumente .....	5
1.2	Dazugehörige Dokumente .....	5
<b>2</b>	<b>Prüfgrundlagen .....</b>	<b>8</b>
2.1	Technische Regelwerke .....	8
2.2	Anerkannte Regelwerke .....	8
<b>3</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Beschreibung der Windenergieanlage/Komponente .....</b>	<b>9</b>
4.1	WEA-Konfigurationen .....	9
4.2	Klimatische Bedingungen .....	10
4.3	Beschreibung der Komponente .....	10
4.4	Auslegungslasten .....	11
4.5	Materialien .....	12
<b>5</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen .....</b>	<b>12</b>
5.1	Prüfmethode .....	12
5.2	Anmerkungen .....	13
5.3	Prüfergebnisse .....	14
5.4	Schnittstellen .....	16
<b>6</b>	<b>Auflagen .....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Offene Punkte .....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>18</b>

## 1 DOKUMENTE

### 1.1 Geprüfte Dokumente

Keine.

### 1.2 Dazugehörige Dokumente

#### Design Evaluation Conformity Statement

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.1]	Bureau Veritas	Design Evaluation Conformity Statement LM 78.3 P	IECRE.WE.CS.23.0239-R0	0	2023-12-11
[1.2.2]	Bureau Veritas	Evaluation report, Design Evaluation, LM 78.3 P rotor blade	190061-DE-BLA-01-5	5	2023-12-08
[1.2.3]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-BLA-02-1	1	2020-09-24
[1.2.4]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-BLA-04-0	0	2021-04-16
[1.2.5]	Bureau Veritas	Evaluation report, Type Testing Evaluation, LM 78.3 P rotor blade	190061-TY-BLA-01-1	1	2023-12-08
[1.2.6]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-BLA-05-0	0	2021-10-29
[1.2.7]	Bureau Veritas	Type Testing Evaluation Conformity Statement LM 78.3 P	190061-CS-TY-01-1	1	2023-12-11
[1.2.8]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-BLA-08-1	1	2022-06-08
[1.2.9]	Bureau Veritas	Component Certificate, LM 78.3 P Wind Turbine Rotor Blade	IECRE.WE.CC.21.0066-R1	1	2022-04-14
[1.2.10]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-BLA-09-1	1	2022-07-29
[1.2.11]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-BLA-11-0	0	2022-11-14
[1.2.12]	Bureau Veritas	Conformity Letter	190061-CL-12-0	0	2023-11-17

#### Auslegungslasten

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.13]	LM Wind Power	Load Conversion Report, LM 78.3 P (Gen. B)	TR-10898	A4	2020-07-06
[1.2.14]	LM Wind Power	Load Conversion Report, LM 78.3 P (Gen. C)	TR-10898	A7	2023-10-19

#### Turbinenlasten

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.15]	LM Wind Power	Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for Enercon-Lagerwey 5.5 MW E-160 143mHH Wind Turbine	TR-13206	A1	2020-08-27
[1.2.16]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T143M2 and T140M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZ2 GK2, - Extreme Loads	M00-C2-40-050358-R1	1	2020-12-11
[1.2.17]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T143M2 and T140M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZ2 GK2, - Fatigue Equivalent Loads	M00-C2-40-050359-R0	0	2020-08-24
[1.2.18]	TÜV SÜD	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	3327372-1-d	1	2021-01-31

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.19]	TÜV SÜD	E-Mail "AW: request to for evaluated loads parameters E-160 E2 143m&140m Loads for TÜV NORD"	2021-03-02_Mail_A.Duerbaum.pdf	-	2021-03-02
[1.2.20]	LM Wind Power	Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen B for Enercon-Lagerwey 5.5 MW E-160 E2 120mHH & 166mHH Wind Turbine	TR-14465	A2	2021-05-11
[1.2.21]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T166M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Design Loads	M00-C2-40-050383-R1	1	2021-05-11
[1.2.22]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T166M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Extreme Loads	M00-C2-40-050384-R1	1	2021-05-11
[1.2.23]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T166M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Fatigue Equivalent Loads	M00-C2-40-050385-R0	0	2021-03-28
[1.2.24]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T120M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Design Loads	M00-C2-40-050386-R0	0	2021-04-09
[1.2.25]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T120M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Extreme Loads	M00-C2-40-050387-R0	0	2021-04-13
[1.2.26]	Lagerwey Wind	L160 P5500 T120M2 BLM6 IEC IIIA & DIBT WZS GKS - Fatigue Equivalent Loads	M00-C2-40-050388-R0	0	2021-04-13
[1.2.27]	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 -	8119042164-1 D V	1	2021-05-18
[1.2.28]	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 -	8119042164-1 D VI	1	2021-05-18
[1.2.29]	LM Wind Power	Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW E-160 EP5 E3 98mHH 50Hz Wind Turbine	TR-15949	A1	2021-10-28
[1.2.30]	ENERCON	Load report Rotor blade LM783P_2p	D02463292-5.0	5.0	2022-12-01
[1.2.31]	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
[1.2.32]	LM Wind Power	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	TR-17223	A1	2022-06-03
[1.2.33]	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 -	8119201822-1 D V	0	2022-06-10
[1.2.34]	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 -	8119201822-1 D IX	0	2022-08-08
[1.2.35]	LM Wind Power	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	TR-17311	A1	2022-06-20
[1.2.36]	LM Wind Power	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	TR-17476	A1	2022-07-22
[1.2.37]	LM Wind Power	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	TR-17473	A1	2022-07-22

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.38]	LM Wind Power	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	TR-17475	A1	2022-07-22
[1.2.39]	ENERCON GmbH	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): 9AFCBB6D5D0930EEFBDF412591199050	-	-	-
[1.2.40]	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 -	8119201822-1 D I	2	2022-12-19
[1.2.41]	LM Wind Power	Blade Load Assessment Report of LM 78.3 P Gen C for ENERCON 5.5 MW, E-160 EP5 E3 R1, 99mHH, 120mHH, 166mHH, Wind class IIIA, 50Hz – 20yrs, Wind class IIB, 50Hz – 25yrs, Wind Turbine, Standard Weather Climate condition	TR-20471	A1	2023-10-18
[1.2.42]	ENERCON GmbH	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	D02772386	0.3	2023-12-21
[1.2.43]	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 -	GS-8120863590-001-004-01	1	2024-01-11

### Design Basis

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.44]	Lagerwey Wind	Design Basis LP4 / EP5 Turbine Configurations	D02274524 (former M00-C2-30-10480)	4.0	2022-12-14
[1.2.45]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report, Wind Turbine Platform ENERCON EP5 - Design Basis -	8114242475-0 E I	12	2023-02-07

### Zeichnungen

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.46]	LM Wind Power	Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon (Gen. B)	DR-15179	A3	2020-05-31
[1.2.47]	LM Wind Power	Outline Drawing, LM 78.3 P, Enercon (Gen. C)	DR-15179	A4	2020-11-18
[1.2.48]	LM Wind Power	Main Drawing, LM 78.3 P	DR-15183	A1	2019-11-15

### Blatt Design Spezifikation und Handbuch

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.49]	LM Wind Power	Technical Blade Specification of the LM 78.3 P rotor blade for ENERCON E-160 turbine (Gen. B)	BS-00609	A8	2020-07-07
[1.2.50]	LM Wind Power	Technical Blade Specification of the LM 78.3 P rotor blade for ENERCON E-160 turbine" (Gen. C)	BS-00609	B4	2021-10-06
[1.2.51]	LM Wind Power	Technical Blade Manual, LM 78.3 P (Gen. B)	BM-00488	A3	2020-07-14
[1.2.52]	LM Wind Power	Technical Blade Manual, LM 78.3 P (Gen. C)	BM-00488	A6	-

Aerodynamische Anbauteile und Blitzschutzsystem

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.53]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report, Vortex Generators Mk. II - unspecific LM rotor blades -	8115417663-3 E I	2	2022-07-11
[1.2.54]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report - Rotor Blade LM 58.7 P5 incl. Vortex Generators MK II, optional T-Spoiler MK II, Spinner Ring and Serrations MK II -	8116029212-3 E	0	2018-07-12
[1.2.55]	DNV GL	Component Certificate, SAFE Receptor - Insulated Lightning Protection System (ILPS)	CC-DNVGL-SE-0074-04682-2	3	2022-11-08 gültig bis: 2024-04-29
[1.2.56]	TÜV NORD CERT GmbH	Evaluation Report, Serrations Mk III - Unspecific LM rotor blades -	8119016506-3 E V	1	2021-10-01

Weiteres

Nr.	Autor	Titel	Dokument-Nr.	Rev.	Datum
[1.2.57]	ENERCON	Email Bestätigung: Gen. C Designlasten decken 120mHH Konfiguration 6 ab, "LM78.3P Gen C - 99mHH + 120mHH" Erhalten von Herrn Keller	-	-	2022-09-29
[1.2.58]	LM Wind Power	Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer "LM 78.3 P Blade on E-160 with 99m tower – Load Evaluation"	-	-	2022-10-26
[1.2.59]	LM Wind Power	Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer "Blade LM 78.3 P on E-160, hub height 166m" Dateiname: LM Wind Power - LM783P on E-160 hub height 166m.pdf	-	-	2022-12-14
[1.2.60]	LM Wind Power	Bestätigungsschreiben bzgl. DELs Abweichungen erstellt von Herrn Schäfer "LM 78.3 P Generation B blade at Hämelhausen – Load Evaluation" Dateiname: LM Wind Power - LM783P GenB at Hämelhausen - Load Evaluation TR-17311.pdf	-	-	2022-12-06

**2 PRÜFGRUNDLAGEN****2.1 Technische Regelwerke**

Nr.	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	

**2.2 Anerkannte Regelwerke**

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.2.1]	GL 2010 Rules and Guidelines, IV - Industrial Services, Part 1 - Guideline for the Certification of Wind Turbines	-	2010
[2.2.2]	IEC 61400-22 Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification	1.0	2010-05
[2.2.3]	IECRE OD-501 Type and Component Certification Scheme	2.0	2018-05-24
[2.2.4]	IECRE OD-501 Type and Component Certification Scheme	3.0	2022-10-25
[2.2.5]	IECRE OD-501-1 Conformity assessment and certification of Blade by RECB	1.0	2017-09-12

Nr.	Titel	Rev.	Datum
[2.2.6]	IEC 61400-1 Wind turbines - Part 1: Design requirements	3.0 + Änderung	2005-08 + 2010-10
[2.2.7]	IEC 61400-1 Wind turbines - Part 1: Design requirements	Ed. 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 2012 [2.1.1] 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 [2.2.2] in Kombination mit IEC 61400-1 Ed.3 [2.2.6] oder IEC 61400-1 Ed.4 [2.2.7], sowie gemäß IECRE OD-501 [2.2.3] in Kombination mit OD-501-1 [2.2.5].

In Revision 7 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die Lasten der Konfigurationen 9 bis 13 für die Blattvariante LM78.3 P Gen. C hinzugefügt. Die Integrität des Rotorblatts wurde in dem Conformity Statement [1.2.12] gemäß OD-501 [2.2.4] in Kombination mit OD-501-1 [2.2.5] bestätigt.

### 4 BESCHREIBUNG DER WINDENERGIEANLAGE/KOMPONENTE

#### 4.1 WEA-Konfigurationen

Diese Gutachtliche Stellungnahme gilt für die folgenden Konfigurationen der Windkraftanlage:

Konfig.-Nr.	WEA Bezeichnung (inkl. ID)	Frequenz	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	WEA-Klasse	Geprüft mit <sup>1)</sup>	Lastannahmen	Lastannahmen geprüft in
1	E160 EP5 E2 T140M2 / T143M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	Gen. B Gen. C	140 m / 143 m	DIBt WZ 2 GK 2	LVGRSA [1.2.3]	[1.2.16], [1.2.17]	3327372-1-d [1.2.18]
2	E160 EP5 E2 T120M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	Gen. B Gen. C	120 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.4]	[1.2.21] - [1.2.23]	8119042164-1 D V [1.2.27]
3	E160 EP5 E2 T166M2	50 / 60 Hz	5,5 MW	Gen. B Gen. C	166 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.4]	[1.2.24] - [1.2.26]	8119042164-1 D VI [1.2.28]
4	E-160 EP5 E3- HT-166-ES-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	166.66 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.2], [1.2.6]	[1.2.30]	8119201822-1 D IV [1.2.31]
5	E-160 EP5 E3- ST-99-FB-C- 01/02	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	99 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.8], [1.2.32]	[1.2.30]	8119201822-1 D IV [1.2.31]
6	E-160 EP5 E3- HST-120-FB-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	120 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.8], [1.2.32], [1.2.57]	[1.2.30]	8119201822-1 D IV [1.2.31]

Konfig.-Nr.	WEA Bezeichnung (inkl. ID)	Frequenz	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	WEA-Klasse	Geprüft mit <sup>*)</sup>	Lastannahmen	Lastannahmen geprüft in
7	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01, 9.6 rpm	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. B	166.66 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.10], [1.2.35], [1.2.37], [1.2.59], [1.2.60]	[1.2.30]	8119201822-1 D IV [1.2.31]
8	E-160 EP5 E3 HT-166-ES-C-01, 9.6 rpm	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	166.66 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.10], [1.2.36], [1.2.38], [1.2.59]	[1.2.30]	8119201822-1 D IV [1.2.31]
9	E-160 EP5 E3 R1 ST-99-FB-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	99.001 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.41]	[1.2.42]	GS-8120863590- 001-004-01 [1.2.43]
10	E-160 EP5 E3 R1 ST-99-FB-C-02	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	99.001 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.41]	[1.2.42]	GS-8120863590- 001-004-01 [1.2.43]
11	E-160 EP5 E3 R1 HST-120-FB-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	119.827 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.41]	[1.2.42]	GS-8120863590- 001-004-01 [1.2.43]
12	E-160 EP5 E3 R1 HT-166-ES-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	166.6 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.41]	[1.2.42]	GS-8120863590- 001-004-01 [1.2.43]
13	E-160 EP5 E3 R1 HT-160-ES-C-01	50 / 60 Hz	5,56 MW	Gen. C	160 m	DIBt WZ S GK S	LVGRSA [1.2.41]	[1.2.42]	GS-8120863590- 001-004-01 [1.2.43]

**Tabelle 4.1: Abgedeckte WEA-Konfigurationen**

<sup>\*)</sup> StrA... Strukturanalyse; LVG... Lastvergleich; LVGTT... Lastvergleich mit technischer Toleranz; LVGRSA... Lastvergleich mit Restsicherheitsbetrachtung

## 4.2 Klimatische Bedingungen

Das Rotorblatt ist für die klimatischen Bedingungen nach DIBt 2012 [2.1.1] ausgelegt und geprüft worden.

## 4.3 Beschreibung der Komponente

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 [1.2.49] und [1.2.50] 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.

### 4.3.1 Rotorblatt LM 78.3 P

#### 4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	LM Wind Power
Bezeichnung:	LM 78.3 P Gen. B
Material:	E-glass fibre reinforced epoxy
Hauptzeichnungsnr.:	DR-15183/A1
Spezifikation:	BS-00609/A8
Rotorblattlänge:	78.3 m
1. Schlageigenfrequenz	0.451Hz $\pm$ 5 %
1. Schwenkeigenfrequenz	0.744 Hz $\pm$ 5 %
Rotorblattmasse:	24492 kg $\pm$ 3% (inkl. Blattflansch / ohne Bolzen)
Statisches Moment (Blattwurzel):	5822 kgm $\pm$ 4.5%
Anbauteile:	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II
Konstruktionslebensdauer:	20 Jahre
Anwendung:	1-3 und 7 (siehe Tabelle 4.1)

#### 4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Entwickelt von:	LM Wind Power
Bezeichnung:	LM 78.3 P Gen. C
Material:	E-glass fibre reinforced epoxy
Hauptzeichnungsnr.:	DR-15183/A1
Spezifikation:	BS-00609/B4
Rotorblattlänge:	78.3 m
1. Schlageigenfrequenz	0.449Hz $\pm$ 5 %
1. Schwenkeigenfrequenz	0.743 Hz $\pm$ 5 %
Rotorblattmasse:	24391 kg $\pm$ 3% (inkl. Blattflansch / ohne Bolzen)
Statisches Moment (Blattwurzel):	5812 kgm $\pm$ 4.5%
Anbauteile:	VGs Mk. II T-Spoiler Mk. II Serrations Mk. II
Konstruktionslebensdauer:	20 Jahre
Anwendung:	1-6 und 8-13 (siehe Tabelle 4.1)

### 4.4 Auslegungslasten

Das Rotorblatt wurde ursprünglich mit Designlasten nach [1.2.13] (Gen. B) und [1.2.14] (Gen. C) bemessen.

Die Lastannahmen sind in nach Tabelle 4.1 spezifiziert.

In den Lastannahmen für Konfiguration 1 [1.2.18] und [1.2.19] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:	0.440 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung	0.755 Hz
Blattmasse:	24500 kg
Statisches Moment (Nabenmitte):	593190 kgm

In den Lastannahmen für Konfiguration 2 bis 3 [1.2.27] und [1.2.28] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0.440 Hz  
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung 0.755 Hz  
Blattmasse: 24285 kg  
Statisches Moment (Nabenmitte): 587681 kgm

In den Lastannahmen für Konfiguration 4 bis 8 [1.2.31] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0.462 Hz  
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung 0.763 Hz  
Blattmasse: 24753 kg / 24413 kg  
Statisches Moment (Nabenmitte): 601304 kgm / 593141 kgm

In den Lastannahmen für Konfiguration 9 bis 13 [1.2.43] wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: 0.450 Hz  
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung 0.754 Hz  
Blattmasse: 24413 kg  
Statisches Moment (Nabenmitte): 593141 kgm

In den Lastannahmen gemäß [1.2.18], [1.2.27], [1.2.28], [1.2.31] und [1.2.43] die aerodynamischen Effekte der Anbauteile berücksichtigt.

Die Bedingungen während des Transports, der Montage und des Aufbaus sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

## **4.5 Materialien**

Die geprüften Materialien nach [1.2.2] sind zu verwenden.

## **5 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN**

### **5.1 Prüfmethode**

Das Rotorblatt LM 78.3 P wurde in [1.2.1] nach IECRE OD-501 Ed. 2.0 [2.2.3] in Verbindung mit IECRE OD-501-1 Ed. 1.0 [2.2.5] und IEC 61400-1 Ed. 4 [2.2.7] für die Lasten nach [1.2.13] zertifiziert. Die GL-Richtlinie [2.2.1] wurde als anerkanntes Regelwerk ebenfalls herangezogen. Die Anforderungen der IECRE OD-501 Ed. 2.0 decken die Anforderungen der DIBt 2015 [2.1.1] ab.

Das Design Evaluation Conformity Statement [1.2.1] deckt die Prüfung der Rotorblattschale, des Handbuchs und des Blitzschutzsystems nach IEC 61400-24 [1.2.55] ab. Bezüglich der Vortex Generatoren Mk. II wird in [1.2.2] auf die Prüfung in [1.2.53] verwiesen. Die Anbauteile Serrations Mk. II und Mk. III sowie T-Spoiler Mk. II sind in [1.2.2] als auch in [1.2.54] und [1.2.56] 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 [1.2.15] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.13] mit den Lasten der Konfiguration 1 [1.2.16] und [1.2.17] 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 [1.2.20] wurden die Auslegungslasten nach [1.2.13] mit den Lasten der Konfiguration 2, [1.2.21] - [1.2.23], und Konfiguration 3, [1.2.24] - [1.2.26], 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 [1.2.18], [1.2.27], [1.2.28] und [1.2.31] (bzw. [1.2.33], [1.2.34] und [1.2.40]) geprüft worden.

Für die Einbindung der Konfiguration 5 wurde der Lastvergleich [1.2.32] eingereicht. Darin werden die Designlasten des Rotorblattes LM 78.3 P Gen. C [1.2.14] mit den aktualisierten turbinenspezifischen Lasten [1.2.30] verglichen. Die Richtigkeit der Lasten, die in dem Dokument [1.2.32] herangezogen wurden, wurde durch einen internen Lastvergleich gegen die in dem Bericht geprüften Lasten gemäß [1.2.31] verifiziert. Mit Bezug auf die Konfiguration 6 wurde festgestellt, dass die turbinenspezifischen Extremlasten Teil der in dem Dokument [1.2.30] enthaltenen Lasteinhüllenden sind. Diese Lasteinhüllende wurde in dem eingereichten Lastvergleichsdokument [1.2.32] 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 [1.2.57] ergänzend vom Kunden bestätigt.

Für die Prüfung der Konfigurationen 7 und 8 wurden die Lastvergleiche [1.2.35] - [1.2.38] 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 [1.2.14] bzw. LM 78.3 P Gen. B [1.2.13] jeweils mit denen in dem aktualisierten, turbinenspezifischen Lastbericht [1.2.29] enthaltenen Lasten gemäß [1.2.39] verglichen. Die Richtigkeit der Konfigurationslasten, die jeweils in den Dokumenten [1.2.35] - [1.2.38] herangezogen wurden, wurde durch interne Lastvergleiche verifiziert. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurde die Integrität der betrachteten Rotorblattvarianten anhand der zusätzlich eingereichten Dokumente [1.2.59] und [1.2.60] vom Kunden bestätigt. Die in [1.2.30] enthaltenen Lasten gemäß [1.2.39] wurden in dem Bericht [1.2.31] 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 [1.2.32] 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 [1.2.32] 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 Prüfergebnisse**

#### Revision 0

Der Lastvergleich [1.2.15] und die Auslegungslasten [1.2.13] 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 [1.2.51] hinzugefügt und die 140 m Nabenhöhe ergänzt, die bereits in den Lastannahmen [1.2.18] 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 [1.2.20] 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 [1.2.14] bestätigt. In [1.2.6] wird die Gültigkeit mit Konfigurationslasten [1.2.29] bestätigt. Die Gültigkeit der statischen Blatttests gegenüber den Designlasten [1.2.14] und Konfigurationslasten [1.2.29] wird in [1.2.5] bzw. [1.2.6] bestätigt.

Die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.30] wurden in [1.2.31] geprüft. Der interne Vergleich der Konfigurationslasten mit den Designlasten zeigt, dass die Lasten der Konfiguration 4 [1.2.30] durch die Designlasten in [1.2.14] und Konfigurationslasten in [1.2.29] abgedeckt sind. [1.2.6] kann damit bestätigt werden.

### Revision 5

Die Eigenschaften des verwendeten Blattmodells in den Lastannahmen gemäß [1.2.31] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.50] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.31] ab.

Das Lastvergleichsdokument [1.2.32], 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 [1.2.32] verwendeten Extremlasten mit den entsprechenden Konfiguration 5 Lasten gemäß [1.2.30] 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 [1.2.32] zurückzuführen. Nichtsdestotrotz zeigt der interne Lastvergleich, dass die in dem Dokument [1.2.32] 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 [1.2.58] 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 [1.2.32] 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 [1.2.31] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.49] bzw. gemäß [1.2.50] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.31] ab. Die Lastvergleichsdokumente [1.2.35] und [1.2.37] bzw. [1.2.36] und [1.2.38], 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 [1.2.35] - [1.2.38] verwendeten Extremlasten mit denen in [1.2.30] enthaltenen turbinenspezifischen Lasten gemäß [1.2.39] 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 [1.2.35] - [1.2.38] 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 [1.2.59] und [1.2.60] 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.

## Revision 7

Die Eigenschaften des verwendeten Blattmodells in den Lastannahmen gemäß [1.2.43] stimmen im Rahmen technischer Toleranzen mit den spezifizierten Eigenschaften des Rotorblattes gemäß [1.2.49] bzw. gemäß [1.2.50] überein. Der in [1.2.1] berücksichtigte Temperaturbereich deckt die berücksichtigten Temperaturbereiche in [1.2.43] ab.

Das Lastvergleichsdokument [1.2.41], das durch das Konformitätsschreiben [1.2.12] von Bureau Veritas evaluiert wurde, bestätigt jeweils die strukturelle Integrität der Rotorblattvarianten LM 78.3 P Gen. B und Gen. C für die Konfigurationen 9 bis 13. Zusätzliche interne Abgleiche der in dem Lastvergleich [1.2.41] verwendeten Extremlasten mit den turbinenspezifischen Lasten gemäß [1.2.43] zeigen eine gute Übereinstimmung. In Bezug auf die Ermüdungslasten wurden vernachlässigbar kleine und konservative Abweichungen hinsichtlich der DELs festgestellt. Die aktualisierten Designlasten für die Rotorblattvariante Gen. C decken die turbinenspezifischen Lasten [1.2.43] ab.

Die Gültigkeit des statischen Blatttests, der in [1.2.5] und [1.2.7] evaluiert wurde, wurde in dem Konformitätsschreiben [1.2.12] für die Konfigurationen 9 bis 13 bestätigt.

Der Prüfbericht [1.2.2] wurde auf IECRE OD501 Ed. 3.0 [1.2.4] aktualisiert. Gemäß [1.2.2] behalten die Prüfergebnisse ihre Gültigkeit für IECRE OD501 Ed. 2.0 [2.2.3].

## **5.4 Schnittstellen**

Die folgenden Schnittstellen sollen betrachtet werden:

Maschinenbau und Betriebshandbücher:

- I1 Die Prüfung der Nachweise zu den Blattbolzen muss im Rahmen der Maschinenbauprüfung erfolgen.

**6 AUFLAGEN**

- A1 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.
- A2 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 folgende Auflagen ebenfalls einzuhalten:

- A3 Jede Änderung des Designs des Rotorblatts LM 78.3 P ist durch Bureau Veritas Certification zu überprüfen.
- A4 Die Lasten dürfen, unabhängig von den betrieblichen Umgebungsbedingungen, die für Zertifizierung verwendeten Lasteneinhüllenden, nicht überschreiten.
- A5 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.
- A6 Ein gültiges Komponentenzertifikat des Blitzschutzes ist zu pflegen.
- A7 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.
- A8 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach Kapitel 2 erfüllt.
- A9 Es ist zu gewährleisten, dass Resonanz weder durch aerodynamische Anregung oder durch andere Komponenten auftritt.

**7 OFFENE PUNKTE**

Keine.

## **8 ZUSAMMENFASSUNG**

Als Ergebnis der Prüfung in Kapitel 5 wird festgestellt, dass das in Kapitel 4 beschriebene Produkt die Anforderungen des technischen Regelwerkes nach 2.1 und die anerkannten Regelwerke nach 2.2 im Rahmen des Anwendungsbereichs dieses Berichts erfüllt. Die Kapitel 6 und A1 sind zu berücksichtigen.

Es bestehen keine Bedenken das Rotorblatt LM 78.3 P, mit den Varianten nach Kapitel 4.3, an der Windenergieanlage Enercon EP5 mit den in Kapitel 4.1 aufgeführten Konfigurationen zu betreiben.

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

**- Ende des Berichtes -**

# **GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME**



**Windenergieanlagen ENERCON EP5  
- Maschinenbauliche Komponenten -**



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

**Datum:** 2023-11-27

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

<b>Zuständige(r) Sachverständige(r):</b>	<b>Freigegeben:</b>
 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

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

## 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 Azimutverstellungssystem 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 Azimutverstellungssystem 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
Auslegungslbensdauer 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 abmildernde 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

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

<b>Zuständige(r) Sachverständige(r):</b>	<b>Freigegeben:</b>
 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

<b>1</b>	<b>Dokumente .....</b>	<b>5</b>
1.1	Geprüfte Dokumente .....	5
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	5
<b>2</b>	<b>Prüfgrundlagen.....</b>	<b>6</b>
2.1	Technische Regelwerke .....	6
2.2	Anerkannte Regelwerke .....	6
<b>3</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Beschreibung der Windenergieanlage .....</b>	<b>7</b>
4.1	WEA-Konfigurationen .....	7
4.2	Klimatische Bedingungen.....	7
4.3	Beschreibung der Verkleidungen und Strukturen.....	8
<b>5</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen .....</b>	<b>9</b>
5.1	Prüfmethode.....	9
5.2	Anmerkungen .....	10
5.3	Prüfergebnisse .....	10
<b>6</b>	<b>Auflagen .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Offene Punkte.....</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>10</b>

## 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. 1

**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
1	15.11.2023	Dokumente [1.2.1] und [1.2.2] aktualisiert	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. 0.4, Datum: 14.07.2023

[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: 09.11.2023

### 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- und Zugrichtung“
- [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.

In Revision 1 dieses Berichts wurden die Dokumente [1.2.1] und [1.2.2] aktualisiert.

### 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