

# **Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen**

## **ENERCON**

### **E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01**

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

**Rev. 1**

|                                                          |                                                |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung</b>                  | <b>3662973-4-d Rev.2 vom</b>                   |
| <b>06.10.2023</b>                                        |                                                |
| <b>2. Hybridturm</b>                                     | <b>3362973-1-d Rev.1 vom 19.09.2023</b>        |
| <b>2.1. Zusammenstellung Turm Statik</b>                 | <b>D02653944-1.</b>                            |
| <b>3. Flachgründung Ø 22,50m</b>                         | <b>3662973-2-d vom 27.01.2023</b>              |
| <b>3.1. Fundamentdatenblatt</b>                          | <b>D02653936-4</b>                             |
| <b>3.2. Schalplan</b>                                    | <b>D02653945-4</b>                             |
| <b>3.3. Bewehrungsplan</b>                               | <b>D02653946-2</b>                             |
| <b>4. Tiefgründung Ø 23,00m</b>                          | <b>3662973-3-d vom 20.02.2023</b>              |
| <b>4.1. Schalplan</b>                                    | <b>D02653970-1</b>                             |
| <b>4.2. Bewehrungsplan Variante D</b>                    | <b>D02653969-3</b>                             |
| <b>4.3. Bewehrungsplan Variante C</b>                    | <b>D02653967-3</b>                             |
| <b>4.4. Bewehrungsplan Variante B</b>                    | <b>D02653965-3</b>                             |
| <b>4.5. Bewehrungsplan Variante A</b>                    | <b>D02653963-4</b>                             |
| <b>4.6. Fundamentdatenblatt</b>                          | <b>D02653956-3</b>                             |
| <b>5. Zusammenstellung Gutachterliche Stellungnahmen</b> |                                                |
|                                                          | <b>8119224863 D Rev.0 vom 21.12.2022</b>       |
| <b>5.1. Lastannahmen für Turm und Fundament</b>          |                                                |
|                                                          | <b>8119224863-1 D IV Rev.0 vom 19.12.2022</b>  |
| <b>5.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau</b> |                                                |
|                                                          | <b>8119224863-1 D III Rev.2 vom 19.12.2022</b> |
| <b>5.3. Sicherheitssystem und Handbücher</b>             |                                                |
|                                                          | <b>8119224863-2 D Rev.1 vom 09.12.2022</b>     |
| <b>5.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz</b>      |                                                |
|                                                          | <b>8119224863-5 D Rev.1 vom 28.09.2022</b>     |
| <b>5.5. Rotorblatt</b>                                   |                                                |
|                                                          | <b>8117142915-3 D Rev.7 vom 20.12.2022</b>     |

|                                           |                                             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>5.6. Maschinenbauliche Komponenten</b> | <b>8119224863-4 D Rev. 1 vom 20.12.2022</b> |
| <b>5.7. Verkleidung und Strukturen</b>    | <b>8119224863-12 D Rev.1 vom 20.12.2022</b> |
| <b>5.8. Turmkopfflansch</b>               | <b>8119224863-11 D Rev.0 vom 07.02.2022</b> |

## 6. Revisionstabelle

| Datum             | Änderung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 06.02.2023 Rev. 0 | <b>Dokument erstellt</b><br><b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3662973-4-d vom 27.01.2023</b><br><br><b>2. Hybridturm 3362973-1-d vom 27.01.2023</b><br>2.1. Zusammenstellung Turm Statik D02653944-0<br><br><b>3. Flachgründung Ø 22,50m 3662973-2-d vom 27.01.2023</b><br>3.1. Fundamentdatenblatt D02653936-4<br>3.2. Schalplan D02653945-4<br>3.3. Bewehrungsplan D02653946-2<br><br><b>4. Zusammenstellung Gutachterliche Stellungnahmen 8119224863 D Rev.0 vom 21.12.2022</b><br>4.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 8119224863-1 D IV Rev.0 vom 19.12.2022<br>4.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8119224863-1 D III Rev.2 vom 19.12.2022<br>4.3. Sicherheitssystem und Handbücher 8119224863-2 D Rev.1 vom 09.12.2022<br>4.4. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8119224863-5 D Rev.1 vom 28.09.2022<br>4.5. Rotorblatt 8117142915-3 D Rev.7 vom 20.12.2022<br>4.6. Maschinenbauliche Komponenten 8119224863-4 D Rev. 1 vom 20.12.2022<br>4.7. Verkleidung und Strukturen 8119224863-12 D Rev.1 vom 20.12.2022<br>4.8. Turmkopfflansch 8119224863-11 D Rev.0 vom 07.02.2022 |
| 24.10.2023 Rev. 1 | <b>Dokument erstellt</b><br><b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3662973-4-d Rev.2 vom 06.10.2023</b><br><b>2. Hybridturm 3362973-1-d Rev.1 vom 19.09.2023</b><br>2.1. Zusammenstellung Turm Statik D02653944-1<br><b>3. Flachgründung Ø 22,50m 3662973-2-d vom 27.01.2023</b><br><b>4. Tiefgründung Ø 23,00m 3662973-3-d vom 20.02.2023</b><br>4.1. Schalplan D02653970-1<br>4.2. Bewehrungsplan Variante D D02653969-3<br>4.3. Bewehrungsplan Variante C D02653967-3<br>4.4. Bewehrungsplan Variante B D02653965-3<br>4.5. Bewehrungsplan Variante A D02653963-4<br>4.6. Fundamentdatenblatt D02653956-3<br><b>5. Zusammenstellung Gutachterliche Stellungnahmen 8119224863 D Rev.0 vom 21.12.2022</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## **Prüfbescheid für eine Typenprüfung**

Datum: 06.10.2023

**Prüfnummer:** 3662973-4-d Rev.2

**Objekt:** Turm und Fundamente E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01  
(Bögl E22)  
Windenergieanlage ENERCON Typ E-138 EP3 E3  
Rotorblatt Typ E-138 EP3-RB-02  
Nabenhöhe 160 m  
Windzone 2, Geländekategorie II,  
Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

**Gültig bis:** 26.01.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:  
3662973-4-  
d\_Rev.2\_ENERCON\_E138 EP3  
E3-HT-160-ES-C-01 (E22)

Das Dokument besteht aus  
7 Seiten.  
Seite 1 von 7

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

| Revision | Datum      | Änderungen                                                           |
|----------|------------|----------------------------------------------------------------------|
| 0        | 27.01.2023 | Erstfassung                                                          |
| 1        | 08.03.2023 | Weitere Fundamentvariante Tiefgründung mit Dokument [3] hinzugefügt. |
| 2        | 06.10.2023 | Dokument [1] aktualisiert.                                           |

## **Inhaltsverzeichnis**

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

## **1. Allgemeine Bestimmungen**

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

Die Typenprüfung bestätigt die Prüfung der Standsicherheit der gelisteten Türme und Gründungen.

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

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

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

## **2. Anlagenbeschreibung**

Die hier behandelte Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-138 EP3 E3 mit 160 m Nabenhöhe besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor mit einer getriebelosen Generatoreinheit.

Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und variabler Rotordrehzahl geregelt.

Umgebungsbedingungen und Daten der Maschine gemäß Herstellerangaben:

|                                                            |                 |
|------------------------------------------------------------|-----------------|
| Nennleistung                                               | 4,26 MW         |
| Windzone                                                   | 2               |
| Geländekategorie                                           | II              |
| Erdbebenzone nach DIN 4149                                 | 0               |
| Nabenhöhe                                                  | 160 m           |
| Rotorblatttyp                                              | E-138 EP3-RB-02 |
| Rotornenndrehzahl                                          | 10.8 U/min      |
| Nennwindgeschwindigkeit, $V_r$ (1 Sekunden Mittelwert)     | 11,1 m/s        |
| Abschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)        | 28 m/s          |
| Einschaltwindgeschwindigkeit (10 Minuten Mittelwert)       | 2,5 m/s         |
| Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (1 Jahres Mittelwert) | 7,71 m/s        |
| Extremer 50-Jahres-Wind, $V_{ref}$ (10 Minuten Mittelwert) | 38,96 m/s       |
| Turbulenzkategorie                                         | A               |
| Lebensdauer*                                               | 25 Jahre        |

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

Tabelle 1

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

|                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| Nabenhöhe        | 160 m                          |
| Turmkonstruktion | Betonfertigteilturm [1]        |
| Fundament        | Flachgründung mit Auftrieb [2] |
|                  | Tiefgründung mit Auftrieb [3]  |

Tabelle 2

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

### **3. Prüfgrundlage**

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

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

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

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

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

### **4. Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung**

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

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

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

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



Industrie Service

- [1] „Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E3, 160 m Nabenhöhe Windzone 2, Geländekategorie II, Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 15 Seiten, Dokument Nr. 3362973-1-d, Rev. 1, Datum 2023-09-19
- [2] „Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung Turm: Enercon E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) Fundament: FlmA  $\varnothing = 22,50$  m Windzone 2, Geländekategorie II, Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 8 Seiten, Dokument Nr. 3662973-2-d, Rev. 0, Datum 2022-01-27
- [3] „Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit - Tiefgründung Turm: Enercon E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) Fundament: TgmA  $\varnothing = 23,00$  m Windzone 2, Geländekategorie II, Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 10 Seiten, Dokument Nr. 3662973-3-d, Rev. 0, Datum 2023-02-20

Die beiden Typenprüfberichte der Fundamente [2] und [3] verweisen auf Revision 0 des Typenprüfberichtes des Hybridturmes [1]. Die Änderungen in Revision 1 von [1] haben keine Auswirkung auf die Gültigkeit der Typenprüfberichte [2] und [3]. Somit sind die beiden Typenprüfberichte [2] und [3] auch in Kombination mit der hier zitierten Revision 1 des Typenprüfberichtes zum Turm [1] gültig.

## **5. Gutachtliche Stellungnahmen**

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

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

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

- [4] „Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 12 Seiten, Dokument Nr. 8119224863-1 D IV, Revision 0, Datum 2022-12-19

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

- [5] „Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E3“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 5 Seiten, Dokument Nr. 8119224863 D, Rev. 0, Datum 2022-12-21

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I vollständig. Die Unterlagen gemäß Abschnitt 3.J, K und L sind mit dem Maschinengutachten noch nicht bestätigt. Die in den gutachtlichen Stellungnahmen vorgegebenen Werte und



Industrie Service

Eigenschaften wurden in den Nachweisen von Turm und Gründungen 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-138 EP3 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.

## **7. Auflagen**

1. Bis zur Inbetriebnahme der ersten Anlage muss eine gutachtliche Stellungnahme mit Bestätigung der Unterlagen gemäß Abschnitt 3.J, K und L der DIBt-Richtlinie /1/ vorgelegt werden.

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

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

Der Bearbeiter

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

C. Reuter

Der Leiter

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

i.V. S. Mayer



Industrie Service

### **Anlage 1:**

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

|     |                                                                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] | Kapitel 9, Auflagen 1 bis 26                                                                                                        |
| [2] | Kapitel 10, Auflagen 1 bis 10                                                                                                       |
| [3] | Kapitel 10, Auflagen 1 bis 15                                                                                                       |
| [4] | Kapitel 6, Auflagen 6.1 und 6.2                                                                                                     |
| [5] | Alle in den in [5] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Prüfbemerkungen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen. |



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## **Prüfbericht für eine Typenprüfung**

Datum: 19.09.2023

**Prüfnummer:** 3362973-1-d Rev. 1

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm  
E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22)**  
Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E3,  
160 m Nabenhöhe  
Windzone 2, Geländekategorie II  
Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

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

**Gültig bis:** 26.01.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/CRE

Dokument:  
3362973-1-  
d\_Rev1\_ENERCON\_E-138 EP3  
E3-HT-160-ES-C-01\_Hybrid  
Turm E22

Das Dokument besteht aus  
15 Seiten.  
Seite 1 von 15

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

| Revision | Datum      | Änderungen                                                                                                   |
|----------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0        | 27.01.2023 | Erstfassung                                                                                                  |
| 1        | 19.09.2023 | Dokument [24] aktualisiert. Dokumente [10] und [26] ergänzt.<br>Zeichnungen [A1], [A4] und [A5] aktualisiert |

## **Inhaltsverzeichnis**

|      |                                            |    |
|------|--------------------------------------------|----|
| 1.   | Unterlagen .....                           | 3  |
| 1.1. | Geprüfte Unterlagen.....                   | 3  |
| 1.2. | Eingesehene Unterlagen.....                | 3  |
| 2.   | Prüfgrundlage .....                        | 5  |
| 3.   | Beschreibung .....                         | 7  |
| 3.1. | Maße:.....                                 | 7  |
| 3.2. | Baustoffe:.....                            | 7  |
| 3.3. | Lastannahmen: .....                        | 8  |
| 4.   | Prüfumfang .....                           | 8  |
| 5.   | Prüfbemerkungen.....                       | 9  |
| 6.   | Prüfergebnis.....                          | 11 |
|      | Auflagen .....                             | 12 |
|      | Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne..... | 15 |



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

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

- [1] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E22, Bauteil: Spannbetonturm“, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 3, Datum 2022-11-24  
ENERCON Dokument Nr. D02653937-3
- [2] Statische Berechnung „Stahlurm Max Bögl Hybridturm E22“, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 3, Datum 2022-10-10  
ENERCON Dokument Nr. D02653938-3
- [3] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E22“, Kapitel 1 bis 9, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 3, Datum 2022-11-11  
ENERCON Dokument Nr. D02653940-3
- [4] „Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm E22“, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 1, Datum 2022-07-29  
ENERCON Dokument Nr. D02653941-1
- [5] „Spannanweisung der Ankerstäbe, Max Bögl Hybridturm E22“, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 2, Datum 2022-11-01  
ENERCON Dokument Nr. D02653942-2
- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm-E22“, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 2, Datum 2022-11-11  
ENERCON Dokument Nr. D02653939-2
- [7] „Lastvergleich / Überprüfung der Turm- und Fundamentstatik aufgrund neuer Lasten (FMEA) für den Max Bögl Hybridturm Turmtyp E22“, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 02, Datum 2023-01-24  
ENERCON Dokument Nr. D02769658-2
- [8] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

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

#### **Lasten:**

- [9] „Lastenbericht Turm, E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 der WEA E-138 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC“, erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02431956/0.2, Revision 0.2, Datum 2022-11-10
- [10] „Lastenbericht Turm, E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01, Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 der WEA E-138 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC“, erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02431956/0.3, Revision 0.3, Datum 2023-02-08
- [11] Excel-Datei „D02799284\_0.1\_en\_Load\_Comparison\_E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_FMEA.xlsx“, erstellt von ENERCON GmbH, Dokument Nr. D02799284/0.1, Revision 0.1, übermittelt 2022-12-21



Industrie Service

- [12] „Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH,  
Dokument Nr. 8119224863-1 D IV, Revision 0, Datum 2022-12-19

#### **Betonturm:**

- [13] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [14] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [15] „Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm“,  
Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [16] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“ erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik,  
Zulassungs-nr. Z-13.3-141, vom 16.04.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [17] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik,  
Zulassungs-nr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [18] 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
- [19] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 18 Seiten,  
Zulassungs-nr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [20] 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
- [21] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“,  
erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik,  
Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 30.01.2019, Geltungsdauer bis 15.02.2024
- [22] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm“,  
erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik,  
Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 29.05.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [23] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [24] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie

Fassung Oktober 2015", erstellt von TÜV NORD CERT GmbH,  
Dokument Nr. 8118409048-6 D, Rev. 2, vom 2022-03-22

- [25] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybriddtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann,  
keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15
- [26] 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:**

- [27] Zeichnung „Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“, erstellt von ENERCON GmbH,  
Zeichnung Nr. D02133917/0.1, Datum 2021-02-05
- [28] „Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 Bolted Connection – Yaw Bearing and Tower Head Flange Statics and Fatigue Strength for Loads according to: IEC ed. 4, WC IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ S“, erstellt von ENERCON GmbH,  
Dokument Nr. D02524598/1.0, Revision 2.0, Datum 2022-01-24
- [29] „Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, verschiedene Konfigurationen, WZ S, GK S - Turmkopfflanschbaugruppe -“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH,  
Dokument Nr. 8119224863-11 D, Revision 0, Datum 2022-02-07
- [30] „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
- [31] „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



Industrie Service

- /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 1090-2:2018 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2018“
- /13/ DIN EN 14399-4:2015 „Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015“
- /14/ DAST – Richtlinie 021:2013 “Schraubverbindungen 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 E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 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:                               | 160 m    |
| Gesamtlänge Turm:                        | 155,73 m |
| Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß: | 8,728 m  |
| Außendurchmesser Turmkopfflansch:        | 4,017 m  |

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

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

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Betonfertigteile             | C100/115 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [21]<br><br>C90/105 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [21]<br><br>C80/95 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [21]<br><br>Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [21] eingesetzt. |
| Vergussmörtel                | ≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Betonstahl                   | B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [22]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Spannsystem                  | 20 Spannglieder System SUSPA Draht EX-72, 72 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt gemäß [16] und [17] in Verbindung mit [18] bzw. [19] in Verbindung mit [20]                                                                                                                                                                |
| 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                                                    |
| Turmfußflansch              | S355 NL gemäß DIN EN 10025                                                    |
| Schraubengarnituren         | M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /12/<br>M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/ |
| Gewindebolzen (Adapter)     | M56-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /15/                                          |
| Ankerring (Adapter)         | S355 J2 gemäß DIN EN 10025                                                    |
| Lastverteilplatte (Adapter) | S355 J2 gemäß DIN EN 10025                                                    |

### 3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Prüfung des Turms der oben genannten Windenergieanlage sind in [9] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [12] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die neue Revision des Lastenberichts [10] enthält lediglich redaktionelle Änderungen. Somit ist Lastenbericht [10] für diesen Turm ebenso gültig. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

In Lastvergleich [7] wurde gezeigt, dass das Turmdesign auch für die Lasten aus [11] verwendet werden kann. Lastdokument [11] wurde ebenfalls mit [12] bestätigt.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.

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

Turmkopfmasse: 289,8 t

## 4. Prüfumfang

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

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

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

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

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

## **5. Prüfbemerkungen**

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

### **Schnittstellen:**

Die Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich, des Radius und der Schraubverbindung zur Maschine gemäß Zeichnung [27] wurde in Dokument [28] durchgeführt und mit [29] bestätigt.

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 [23] durchgeführt und mit [24] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Randbedingungen der Nachweise in [23] für den vorliegenden Turm eingehalten sind.

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

### **Eigenfrequenzen:**

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt innerhalb des im Lastgutachten [12] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,192 Hz bis 0,223 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\varphi, \text{dyn}} = 310 \text{ GNm/rad}$  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 [9] 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  $k_{\varphi, \text{stat}} = 50 \text{ GNm/rad}$  wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von /1/ wurden für die Turmschiefstellung statt 5 mm/m lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt. In Dokument [15] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [15] 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 [3] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [3] geführt. Die zeitliche Beschränkung gilt für den Fall, dass die angegebenen maximalen Windgeschwindigkeiten überschritten werden. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung, siehe Auflage 5.

| Bauzustand / vorübergehender Zustand                           | Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit |                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen                    | 1 Jahr                                          | Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 19,96 m/s nicht überschreiten |
| Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion                    | 30 Tage                                         | Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 14,97 m/s nicht überschreiten |
| Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion                    | 30 Tage                                         | Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 12,54 m/s nicht überschreiten |
| Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel           | 30 Tage                                         | Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 9,02 m/s nicht überschreiten  |
| Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor | 30 Tage                                         | Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 4,49 m/s nicht überschreiten  |
| Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage                  | 1 Jahr über die Lebensdauer                     |                                                                                                     |

### Kerbfallklassen:

Für die Berechnung des Turmes in [2] wurden die Kerbfallkategorien, sofern nicht anders angegeben gemäß DIN EN 1993-1-9 /8/ Bild 7.1, folgendermaßen angesetzt:

| Lage gemäß Zeichnung [8] ([A9])                                                                                                                                                               | Kerbfallkategorie / Anforderung |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Kerbfallklassen gemäß [30] und [31].<br>Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfallklassen sind auf der Turmzeichnung [8] ([A9]) definiert. |                                 |
| <b>Bereich Turmkopfflansch</b>                                                                                                                                                                |                                 |
| Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches                                                                                                                        | Keine Anschweißteile erlaubt    |
| <b>Rundnähte (wenn zutreffend auf beiden Seiten des genannten Bleches)</b>                                                                                                                    |                                 |
| Stumpfnäht zum Turmkopfflansch                                                                                                                                                                | KFK 112                         |
| Alle anderen Rundnähte                                                                                                                                                                        | KFK 90                          |

Ein Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit wurde nicht angesetzt.

### Ermüdung:

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter der Betonfertigteilstegmente zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung mit 28 Tagen und das Alter des Adapters mit 90 Tagen angesetzt.

Der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd,fat}$  wurde auf Basis des Gutachtens [26] abweichend von der abZ [21] mit einem Versprödungsfaktor von 1,0 statt 0,9 angesetzt, siehe Auflage 19.



Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{Rsk}$  für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [22] angesetzt.

#### **Stahlsortenauswahl:**

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [2] für eine Bezugstemperatur  $T_{Ed} = -30^{\circ}\text{C}$  durchgeführt.

#### **Betondeckung:**

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

#### **Teilsicherheitsbeiwert Betonfestigkeit:**

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

#### **Ausführungsvarianten:**

Bezüglich der Ankerschrauben im Adapterelement sind 2 Varianten möglich:

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

#### **Änderungen Einbauteile:**

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

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

In den Zeichnungen [A1], [A4] und [A5] wurde das außenliegende Mantelblech des Adapters konstruktiv verlängert und im Bereich der äußeren Betondeckung des Adapters eine konstruktive Zusatzbewehrung angeordnet.

### **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 [9] und [11] geeignet.

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



## **Auflagen**

### **Allgemein**

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [9] und [11] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
2. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss, auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen im Lastdokument [9] und [11] 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.
6. Gemäß Dokument [3] ist in der statischen Berechnung der Fundamente nachzuweisen, dass unter der Bemessungssituation BS-T in der Sohlfuge Klaffen bis maximal zum Schwerpunkt (2. Kernweite) für den Bauzustand „vollständige Errichtung der Windenergieanlage ohne Erdüberschüttung“ eingehalten ist.

### **Stahlsektionen**

7. 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.
8. 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.
9. Der Stahlrohrturm darf nur von Herstellern mit einer Qualifizierung gemäß DIN EN 1090-1 für mindestens Ausführungsklasse EXC3 gefertigt werden.
10. Die Fertigung des Stahlrohrturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.
11. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeinrichtungen) müssen mindestens den in Abschnitt 5 angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
12. Die Schweißnähte des Turmes müssen den Anforderungen der Kerbfallklassen gemäß Abschnitt 5 entsprechen.
13. Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches dürfen keine zusätzlichen Teile angeschweißt werden.

14. Beim Anschweißen der Flansche an die Turmwand ist fachgerecht vorzuwärmen.

### **Betonteil**

15. 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.
16. 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.
17. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [16] bis [20] sowie für die Hochfestbetone [21] und geschweißten Bewehrungselemente [22] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
18. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version der zitierten Zulassungen [16] bis [22] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit der hier zitierten Version nachzuweisen.
19. Die gewählten Ansätze für die Ermüdungsfestigkeit des Betons sind mit einer aktualisierten abZ [21] zu bestätigen. Die aktualisierte abZ [21] oder ein entsprechender bautechnischer Nachweis (Typengenehmigung) ist unaufgefordert vorzulegen und muss vor Inbetriebnahme des ersten Turms der hier genannten Anlage vorliegen. Falls der allgemeine Anwendbarkeitsnachweis noch nicht rechtzeitig erteilt sein sollte, ist für den verwendeten Ansatz eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung als Anwendbarkeitsnachweis vorzulegen. Dieser Nachweis kann bei der jeweils zuständigen Obersten Baubehörde beantragt werden.
20. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeiten des Vergussmörtels und des Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren. Die Druckfestigkeit des Vergussmörtels und des Betons muss zum Zeitpunkt des Vorspannes der Spannglieder mindestens die Festigkeit aus Kap. 9 von [3] betragen.
21. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
22. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [5] 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 Vorspanniveaus sicherzustellen.
23. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung muss der Adapter mindestens 90 Tage alt sein. Der dabei rechnerisch angesetzte Wert für die Nacherhärtung des Betons  $\beta_{cc} = 1,09$  ist durch erweiterte Erstprüfungen und Produktionskontrollen nachzuweisen.
24. Der rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons im Adapter zwischen 45.000 N/mm<sup>2</sup> und 53.000 N/mm<sup>2</sup> ist sicherzustellen.

### **Prüfintervalle**

25. 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 der Ankerschrauben des Adapters innerhalb dieses Zeitraums aufgebracht wird, kann die zuvor genannte Prüfung dieser Ankerschrauben hierdurch ersetzt werden.



Industrie Service

26. 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 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

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

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

| Nr.  | Planbezeichnung                                                   | Ind. | Titel                                                                         | Datum      |
|------|-------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| [A1] | DE-E22-001-XX-X-<br>Uebersicht<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653944-1 | a    | Übersichtsplan Gesamtturm<br>NH = 160.0m,<br>Spannglieds. „SUSPA“             | 2023-08-23 |
| [A2] | DE-E22-095-XX-X-<br>Schalplan<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653948-0  | -    | Schalplan Rohteile C–Ringe                                                    | 2022-06-01 |
| [A3] | DE-E22-096-XX-X-<br>Bewehrung<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653949-3  | c    | Bewehrung Rohteile<br>C–Ringe (3-teilig)                                      | 2022-10-04 |
| [A4] | DE-E22-AE1-K1-X-<br>Schalplan<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653951-1  | a    | Schalplan Uebergangsstueck<br>AE1 (SUSPA)                                     | 2023-08-24 |
| [A5] | DE-E22-AE1-K1-X-<br>Bewehrung<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653950-2  | b    | Bewehrung Uebergangsstueck<br>AE1 (SUSPA)                                     | 2023-08-29 |
| [A6] | DE-E22-M008-<br>Montageplan<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653952-0    | -    | Fugendetailplan                                                               | 2022-05-31 |
| [A7] | XX-XXX-M56-HV-1-<br>Schalplan                                     | b    | Gewindestange fuer<br>Uebergangsstueck mit Decordynbe-<br>schichtung T0150831 | 2021-01-25 |
| [A8] | XX-XXX-M56-HV-2-<br>Schalplan                                     | b    | Gewindestange fuer<br>Uebergangsstueck mit Schrumpf-<br>schlauch T0150830     | 2021-01-25 |

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

| Nr.  | Planbezeichnung                                                   | Ind. | Titel                    | Datum      |
|------|-------------------------------------------------------------------|------|--------------------------|------------|
| [A9] | DE-E22-022-XX-X-<br>Uebersicht<br>ENERCON Dok. Nr.<br>D02653947-2 | b    | Übersichtsplan Stahlturm | 2022-10-14 |





Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 27.01.2023

**Prüfnummer:** 3662973-2-d

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**  
Turm: E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22)  
Fundament: FlmA Ø = 22,50 m  
Windzone 2, Geländekategorie II,  
Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

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

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

**Geltungsdauer:** bis 26.01.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/AME

Dokument:  
3662973-2-d\_Enercon\_E-138  
EP3-E3-HT-160-ES-C-  
01\_E22\_FGmA\_22,5m.docx

Das Dokument besteht aus  
8 Seiten.  
Seite 1 von 8

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Industrie Service

| Revision | Datum      | Änderungen  |
|----------|------------|-------------|
| 0        | 27.01.2023 | Erstfassung |

## **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.....               | 7 |



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

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

- [1] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm E22, Bauteil: Fundament mit Auftrieb, Windenergieanlage: Enercon E-138 EP3 E3, Nabenhöhe: 160 m“, 194 Seiten, Enercon Dokument Nr. D02653943-1, Dokument Nr. 21683-E22, Rev. 01, Datum 2022-08-17
- [2] „Fundamentdatenblatt Max Bögl Hybridturm DE-E22 E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 9 Seiten, Enercon Dokument Nr. D02653936-4, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 04, vom 2022-11-11
- [3] „Schalplan Fundament Ø 22,50m“, Enercon Dokument Nr. D02653945-4, Dokument Nr. DE\_E22\_005\_XX\_X, Rev. d, Datum 2022-11-15
- [4] „Bewehrung Fundament Ø22,50m“, Enercon Dokument Nr. D02653946-2, Dokument Nr. DE\_E22\_006\_XX\_X, Rev. b, Datum 2022-10-31
- [5] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E22“, Kapitel 10, 1 Seite, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 3, Datum 2022-11-11  
ENERCON Dokument Nr. D02653940-3

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm-E22“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 16 Seiten, Enercon Dokument Nr. D02653939-2, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 02, vom 2022-11-11
- [7] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [8] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 9 Seiten, Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 0, Datum 2021-03-05
- [9] „Übersichtsplan Gesamtturm, NH 160.0 m, Spannglieds. “SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG, Enercon Dokument Nr. D02653944-0, Dokument Nr. DE\_E22\_001\_XX\_X\_Übersicht, Rev. 0, Datum 2022-05-31
- [10] „Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) Windenergieanlage Enercon E-138 EP3, 160 m Nabenhöhe Windzone 2, Geländekategorie II Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 16 Seiten, Dokument Nr. 3362973-1-d, Rev. 0, Datum 2023-01-27



## **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 und DIN 1054/A2:2015
- /6/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /7/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

### **3. Beschreibung**

Der Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) wird mit Spanngliedern extern vorge-spannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit veränderlicher Höhe so-wie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockel ist eine Mörtelausgleichs-schicht angeordnet.

Die Fundamentplatte wird mit Erdreich überschüttet, um die statisch erforderliche Auflast zu errei-chen.

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

#### **3.1. Baustoffe**

|                     |                                                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Beton für Fundament | C30/37 mit Expositionsklassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß<br>DIN EN 1992-1-1 /3/ |
| Beton für Sockel    | C40/50 mit Expositionsklassen XC4, XD1, XF1, XA1 gemäß<br>DIN EN 1992-1-1 /3/ |
| Betonstahl          | B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/                                               |

#### **3.2. Lastannahmen**

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind in [6] angegeben. Diese Lasten wurden mit dem Prüfbericht zum Turm [10] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden gemäß Turmprüfbericht [10] nicht berücksichtigt.

Auf der Fundamentplatte im Turminnenraum wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m<sup>2</sup> berücksichtigt.

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

#### **3.3. Baugrund**

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Zeichnung [3]  $k_{\phi,dyn} \geq 310 \text{ GNm/rad}$  und  $k_{\phi,stat} \geq 50 \text{ GNm/rad}$ .

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt 0,306 m über Fundamentunterkante.



#### **4. Prüfumfang**

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

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

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

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

#### **5. Prüfbemerkungen**

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

##### **Schnittstellen:**

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

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in der statischen Berechnung des Turms geführt und in [10] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [7] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [8] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [7] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundaments übereinstimmen und die Prüfaussage in [8] für dieses Fundament gültig ist.

Die Erfüllung der Auflage 6 aus Prüfbericht [10] wird mit diesem Prüfbericht bestätigt.

##### **Teilsicherheitsbeiwerte:**

In [1] wurde abweichend von den Regelungen in /1/ der Teilsicherheitsbeiwert für günstig wirkendes Eigengewicht für die Fundamentplatte mit 0,95 im Grenzzustand der Tragfähigkeit angesetzt. Die daraus resultierende minimale Wichte des Fundamentkörpers von 23,7 kN/m<sup>3</sup> ist durch entsprechende Qualitätssicherung auf der Baustelle sicher nachzuweisen, siehe Auflage 8.

##### **Imperfektionen:**

Die Lasten aus [6] 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 [10] für die Turmschiefstellung statt 5 mm/m lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt.

## **6. Prüfergebnis**

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

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

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

## **Auflagen für Herstellung und Errichtung**

### **Baugrund**

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [3] 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 angesetzte Wichte des Stahlbetons des Fundaments von 23,7 kN/m<sup>3</sup> ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
9. Das in [3] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.



Industrie Service

## 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 'A. Molins Estelles', written over a horizontal line.

A. Molins Estelles

Der Leiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Mayer', written over a horizontal line.

i.V. S. Mayer

|                                |                |                                                                                                                                       |                               |
|--------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:         |                | <br><b>MAX BÖGL</b><br>Fortschritt baut man aus Ideen | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
|                                |                |                                                                                                                                       | Datum / Date:<br>11.11.2022   |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3 | NH / HH: 160 m | Hybriddturm / Tower: DE-E22                                                                                                           |                               |

## TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer

5 Jahre/Wiedervorlage bis 26.01.2028

Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

## Max Bögl Hybridturm DE-E22

## E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 Flachgründung

Projektnummer /  
*Project number:* 21683-E22

Documentnummer /  
*Document number* D00272545

Anlagenhersteller /  
*Turbine manufacturer:* ENERCON GmbH  
 Dreekamp 5  
 DE-26605 Aurich

Windenergieanlage /  
*Wind turbine:* Enercon E-138 EP3

Nabenhöhe /  
*Hub height:* 160 m

Bauteil /  
*Component:* Flachgründung mit Auftrieb  
*Flat foundation with Buoyancy*

Verfasser / *Author:* Max Bögl Wind AG  
 Max-Bögl-Str. 1  
 DE-92369 Sengenthal

Datum / *Date:* 11.11.2022

Enercon Dokumentenr. /  
 Enercon Document no.: D02653936-4

3662973-2-d

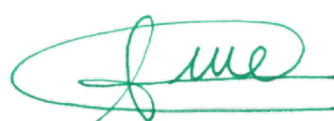
In bautechnischer Hinsicht geprüft.

 Siehe Prüfbericht vom .....  
 München .....

 TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
 Prüfstelle für Standsicherheit  
 von Windenergieanlagen

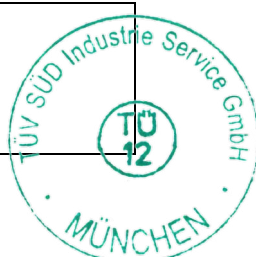
Der Bearbeiter:

Der Leiter:




Bauteil /  
*Component:* Fundament / *Foundation*

Block /  
*Chapter:*



## Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

| Revision /<br><i>Revision</i> | Datum /<br><i>Date</i> | Beschreibung /<br><i>Description</i>                                                                                                    | Bearbeiter /<br><i>Author</i> |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| -                             | 08.04.2022             | Erstausgabe / <i>First release</i>                                                                                                      | L. Planas                     |
| 01                            | 10.06.2022             | ENO Kommentare angepasst / <i>ENO comments adjustment</i>                                                                               | J. Goycoolea                  |
| 02                            | 22.09.2022             | Lasten angepasst / <i>loads adjusted</i>                                                                                                | J. Goycoolea                  |
| 03                            | 22.09.2022             | Revisionsnummer korrigiert / <i>revision number corrected</i>                                                                           | Th. Betz                      |
| 04                            | 11.11.2022             | Bodendrehsteifigkeit von 250 000 zu 310 000 MNm/rad erhöht / <i>Soil rotational stiffness from increased 250 000 to 310 000 MNm/rad</i> | J. Goycoolea                  |

Datum / *Date*: 11.11.2022

Aufgestellt:



i.A. Joaquin Goycoolea Castillo

Aufgestellt /  
*Prepared by*:



i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft und freigegeben /  
*Checked and approved by*:

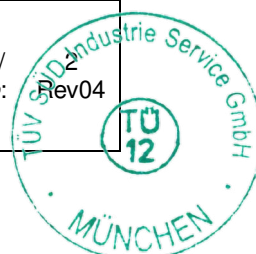


i.A. Thorsten Betz

Bauteil /  
*Component*: Fundament / *Foundation*

Block /  
*Chapter*: Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Seite/  
*Page*: 2  
Rev04

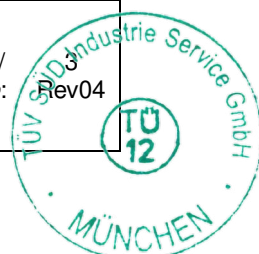


## Inhaltsverzeichnis / *Table of contents*

|                                                                                                    |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i> .....                                              | 2        |
| Inhaltsverzeichnis / <i>Table of contents</i> .....                                                | 3        |
| <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>6</b> |
| 3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / <i>Own weight, soil cover and buoyancy</i> ..... | 6        |
| 3.2 Turmlasten / <i>Tower loads</i> .....                                                          | 7        |
| 3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / <i>BS-P, BS-T and BS-A</i> .....                                       | 7        |
| 3.2.2 GZT und GZG / <i>ULS and SLS</i> .....                                                       | 8        |
| <b>4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i></b> .....                            | <b>9</b> |

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

|                        |   |
|------------------------|---|
| Seite/<br><i>Page:</i> | 3 |
| Rev04                  |   |



1 Allgemeines / General

In diesem Dokument werden die sich aus der Vorbemessung ergebende Kennwerte des Fundamentes für die nachfolgend angegebene Windenergieanlage zusammengefasst.

This document summarizes the properties of the foundation for the following wind turbine, which result of the preliminary design.

Turm / Tower

Beschreibung / Description

|                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Turmtyp / Tower type              | Max Bögl hybrid tower E22 |
| Turbinenhersteller / Manufacturer | Enercon                   |
| Land / Country                    | DE                        |
| Leistung / Power                  | 4.XX MW                   |
| WEA / Wind turbine                | E-138 EP3 E3              |
| Nabenhöhe / Hub height            | 160 m                     |
| System / System                   | RT 2.0                    |

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

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

Enercon\_DE\_X,XXMW\_E-138\_160,0m\_RT2,0\_a

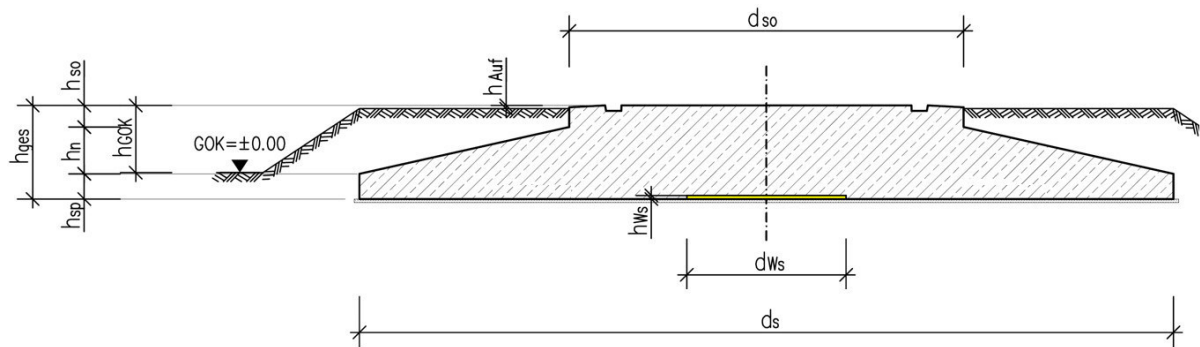
|                      |                         |                |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| Bauteil / Component: | Fundament / Foundation  | Seite/ Page: 4 |
| Block / Chapter:     | 1 Allgemeines / General | Rev04          |



## 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*

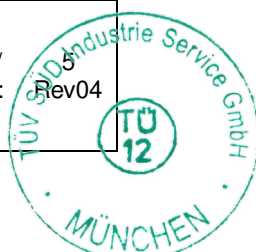
#### Betonkörper / *Concrete body*

|                                                                                                                      |           |   |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|---------|
| Außendurchmesser / <i>Outer diameter</i>                                                                             | $d_s$     | = | 22,50 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>                                                                             | $h_{ges}$ | = | 2,60 m  |
| Spornhöhe / <i>Outer height</i>                                                                                      | $h_{sp}$  | = | 0,70 m  |
| Spornneigungshöhe / <i>Nose incline height</i>                                                                       | $h_n$     | = | 1,30 m  |
| Sockelhöhe / <i>Base height</i>                                                                                      | $h_{so}$  | = | 0,60 m  |
| Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante /<br><i>Separation foundation top edge - ground level</i>                | $h_{GOK}$ | = | 2,294 m |
| Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungoberkante /<br><i>Separation foundation top edge - soil cover top edge</i> | $h_{Auf}$ | = | 0,10 m  |

Bauteil /  
*Component:* Fundament / *Foundation*

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

Seite/  
*Page:* Rev04



### 3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentvorbemessung angesetzt.

Die Belastung aus der Windenergieanlage wurden gemäß der E-138 EP3 E3 Lastrechnung *D02452262\_0.3\_en\_Calculation\_ E-138 EP3; LL03; E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01; fatigue and ultimate loads; tower* angesetzt.

The followings loads were applied in the foundation pre-design.

The loads from the wind turbine were applied according to E-138 EP3 E3 load calculation *D02452262\_0.3\_en\_Calculation\_ E-138 EP3; LL03; E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01; fatigue and ultimate loads; tower.*

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

##### Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / *Concrete specific weight*

$$\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

Betongewicht / *Concrete weight*

$$G_c = 15\,744 \text{ kN}$$

##### Überschüttung / Backfill

Höhe Erdüberschüttung innen / *Inner thickness backfill*

$$t_{\text{Max}\ddot{U}s,\text{inn}} = 0,500 \text{ m}$$

Höhe Erdüberschüttung außen / *Outer thickness backfill*

$$t_{\text{Max}\ddot{U}s,\text{aus}} = 1,800 \text{ m}$$

Bodenwichte / *Soil specific weight*

$$\gamma_{\ddot{U}s} = 18,0 \text{ kN/m}^3$$

Gewicht Erdüberschüttung / *Soil cover weight*

$$G_{\text{Max}\ddot{U}s} = 6\,711 \text{ kN}$$

##### Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / *Buoyancy height*

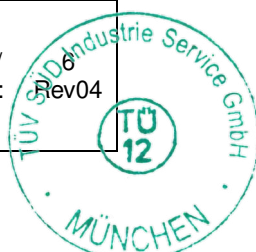
$$h_{\text{Gw,max}} = 0,306 \text{ m}$$

Auftriebskraft / *Buoyancy force*

$$G_{\text{Gw,max}} = -1\,217 \text{ kN}$$

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

Seite/  
Page: 8  
Rev04



## 3.2 Turmlasten / *Tower loads*

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

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

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

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

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

| LF / LC         | BS-P    | BS-T    | BS-A    |
|-----------------|---------|---------|---------|
| $V_k$ [kN]      | 33 036  | 33 036  | 32 507  |
| $H_k$ [kN]      | 1 404   | 881     | 1 495   |
| $M_{b,k}$ [kNm] | 171 153 | 124 207 | 193 357 |

Lasten an Fundamentunterkante / *Loads at the foundation bottom*

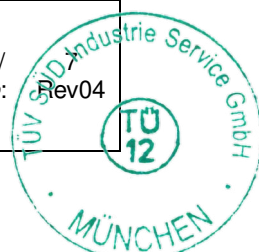
Legende / *Legend:*

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

Bauteil /  
*Component:* Fundament / *Foundation*

Block /  
*Chapter:* 3 Belastung / *Loading*

Seite/  
*Page:* Rev04



### 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.

Die Schnittgrößen beinhalten bereits den Einfluss nach Theorie II. Ordnung mit linear elastischem Tragverhalten einschließlich elastischer dynamischer Einspannung in den Baugrund.

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.

The internal forces consider already the influence of the II. order theory with linear elastic behaviour including elastic dynamic loading in the foundation soil

| LF / LC                       | GZT / <i>ULS</i> | D.3     |
|-------------------------------|------------------|---------|
| <b>V<sub>Ed</sub></b> [kN]    | 22 630           | 17 292  |
| <b>H<sub>Ed</sub></b> [kN]    | 1 897            | 812     |
| <b>M<sub>b,Ed</sub></b> [kNm] | 221 383          | 107 585 |
| <b>M<sub>t,Ed</sub></b> [kNm] | 1 353            | 3 064   |
| <b>γ<sub>E</sub></b>          | 1,35             | 1,00    |

Lasten an Fundamentoberkante / *Loads at the foundation top*

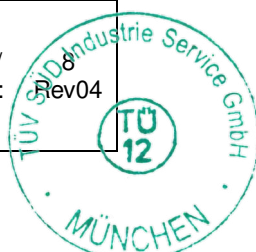
Legende / *Legend:*

- V<sub>Ed</sub>: Normalkraft (vertikal) / *Normal force (vertical)*
- H<sub>Ed</sub>: Querkraft (horizontal) / *Shear force (horizontal)*
- M<sub>b,Ed</sub>: Biegemoment / *Bending moment*
- M<sub>t,Ed</sub>: Torsionsmoment / *Torsional moment*
- γ<sub>E</sub>: Sicherheitsfaktor / *Safety factor*

Bauteil /  
*Component:* Fundament / *Foundation*

Block /  
*Chapter:* 3 Belastung / *Loading*

Seite/  
*Page:* 8  
Rev04



## 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 / *Static rotational spring*

$$k_{\varphi, \text{stat}} = 50\,000 \text{ MNm/rad}$$

Dynamische Drehfeder / *Dynamic rotational spring*

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = 310\,000 \text{ MNm/rad}$$

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

Maximal zulässige Schiefstellung in 25 Jahre / *Maximal allowed out-of-vertical inclination in 25 years*

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

### Bodenpressung / *Soil bearing pressure*

Erforderliche Widerstand / *Required resistance*

Maximale Randdruckspannung im BS-P / *Maximal edge soil pressure in BS-P*

$$\sigma_{\text{max, BS-P}} = 267 \text{ kN/m}^2$$

Maximale Randdruckspannung im BS-A / *Maximal edge soil pressure in BS-A*

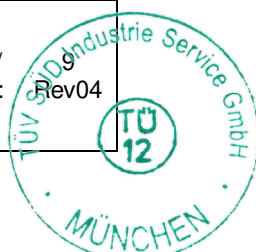
$$\sigma_{\text{max, BS-A}} = 317 \text{ kN/m}^2$$

Sohlreibungswinkel / *Angle of base friction*

$$\delta_K > 20^\circ$$

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

|                         |                                                            |                 |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------|
| Bauteil /<br>Component: | Fundament / <i>Foundation</i>                              | Seite/<br>Page: |
| Block /<br>Chapter:     | 4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i> | Rev04           |

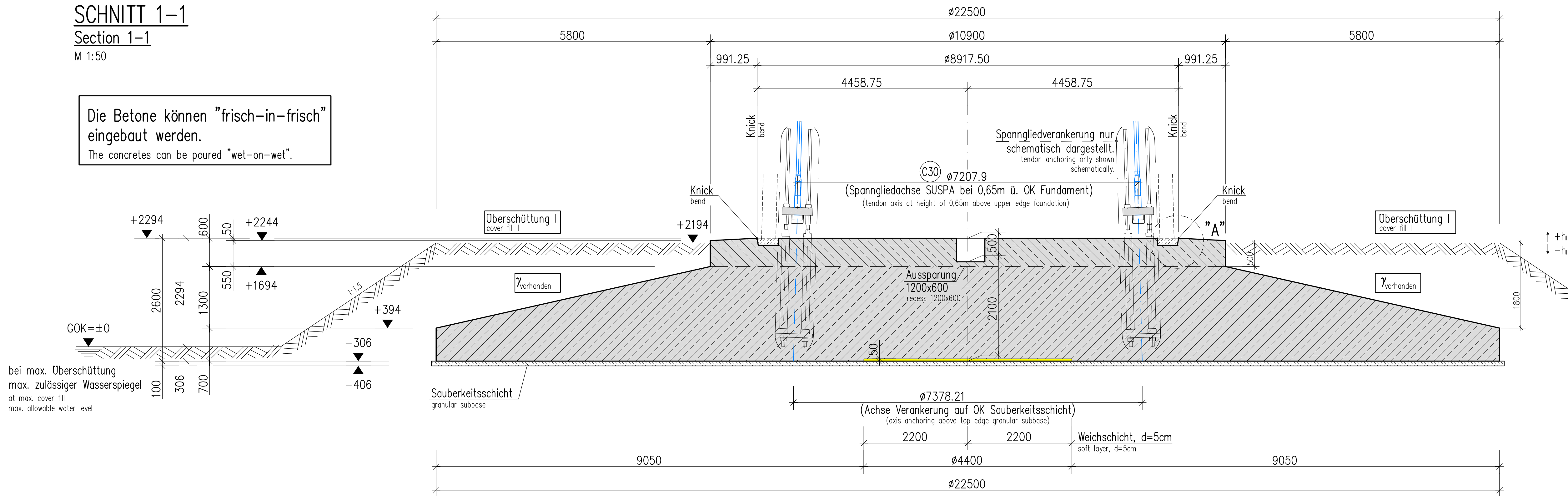


## SNITT 1-1

### Section 1-1

M 1:50

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

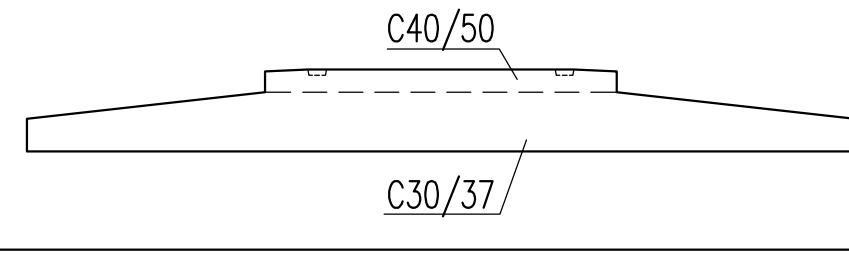


Die planmäßige Dichte beträgt 1.8 to/m<sup>3</sup>. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdauflost ist durch den Bodenglacher festzulegen.  
Die Überschüttung muss jedoch mindestens 50cm betragen.  
The absolute value of the soil density is 1.8 to/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 Erdauflost auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I:  
required earth cover on the foundation body for the cover III I:

$$A_{\text{Auflost}} = \frac{\pi}{4} \times (22,50^2 - 10,90^2) = 304,3 \text{ m}^2$$
$$V_{\text{erf}} = 372,9 \text{ m}^3$$
$$G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 372,9 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ to/m}^3 = 671,3 \text{ to}$$
$$h_i \text{ [m]} = \frac{G_{\text{erf}} - V_{\text{erf}}}{A_{\text{Auflost}}} = \frac{671,3 \text{ [to]} - 372,9 \text{ [m}^3\text{]}}{304,3 \text{ [m}^2\text{]}}$$

Volumen Beton:  
volume concrete: 630m<sup>3</sup>  
Fundamentkopf = 55m<sup>3</sup>  
Fundamentplatte = 575m<sup>3</sup>  
Gewicht: weight: 15750kN



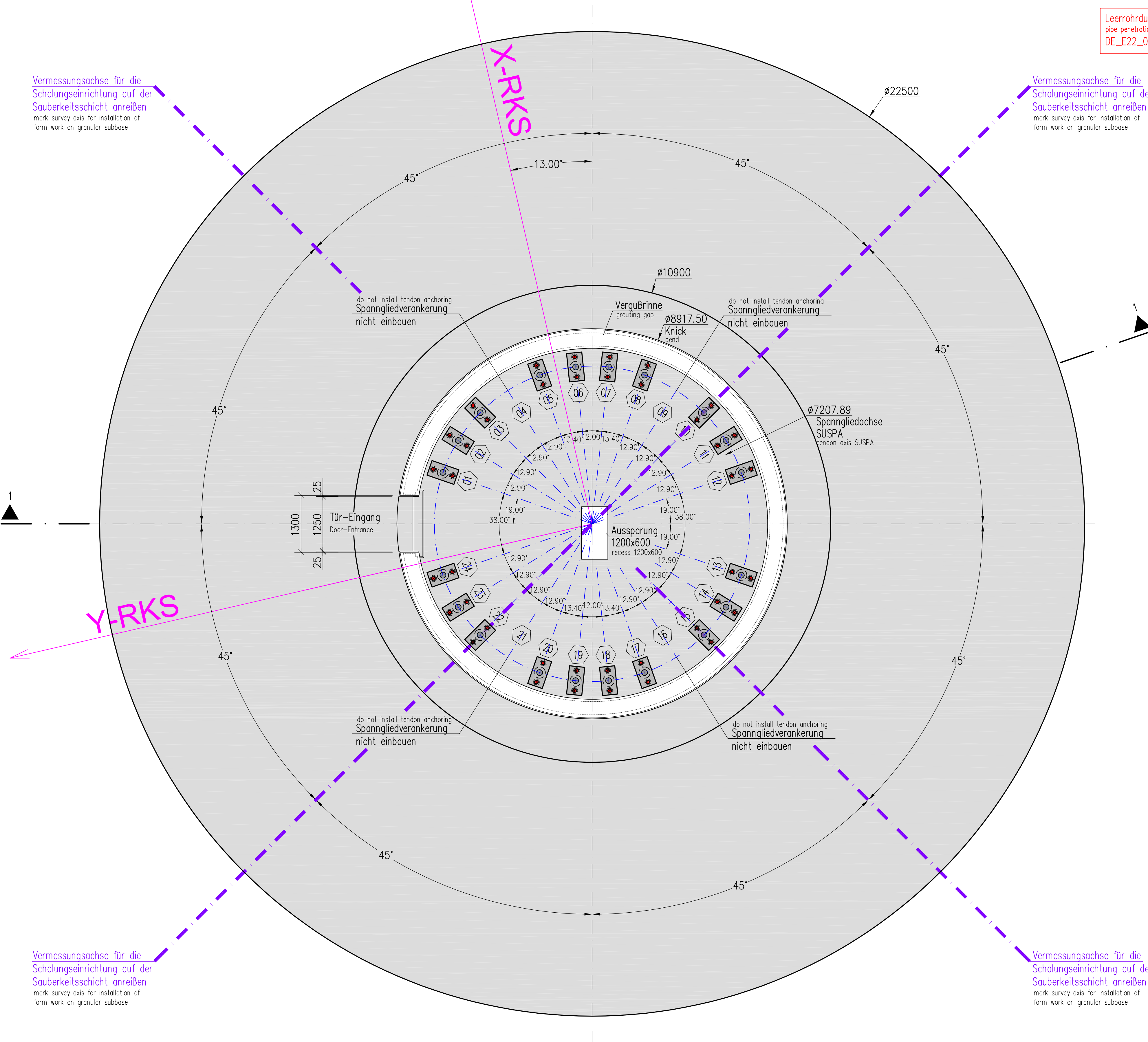
## DRAUFSICHT

### TOP VIEW

M 1:50

Detail Tür "Vergußbrett"  
Detail door "Dormolding board"  
siehe Plan DE\_E22\_081\_XX\_X\_Uebersicht

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



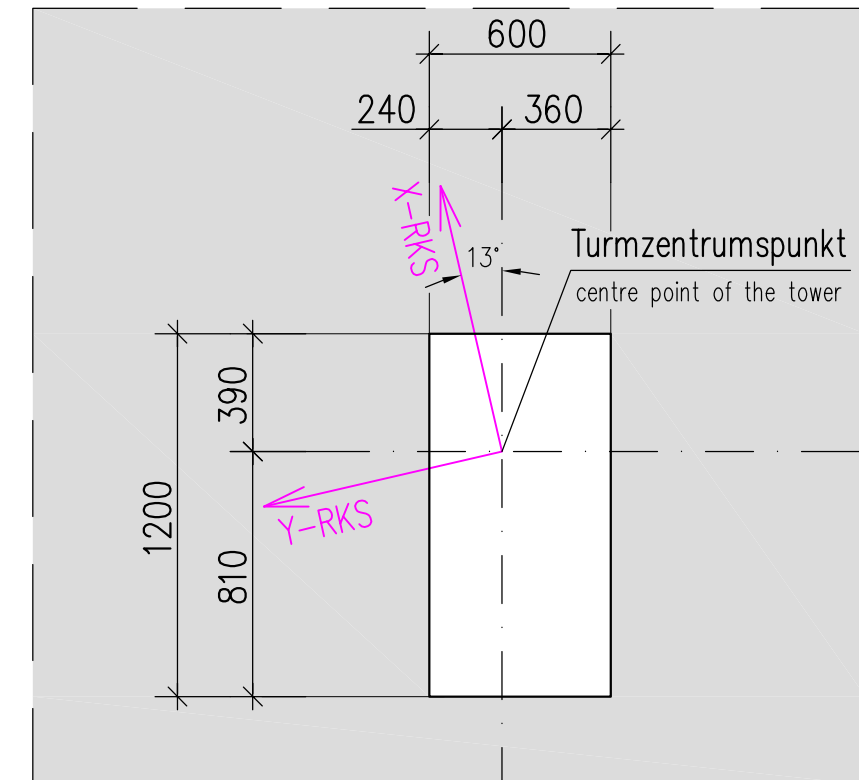
Die Weichschicht in der Fundamentmitte  
kann in oder auf der Saubereitsschicht  
angeordnet werden.  
The soft layer in the foundation center can be placed  
in or on top of the clean layer.

Leerrohrdurchführung, Einbauteile, etc. siehe Plan  
DE\_E22\_081\_XX\_X\_Uebersicht

## DRAUFSICHT AUSSPARUNG

### TOP VIEW RECESS

M: 1:25



TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer  
.....Jahre/Wiedervorlage bis .....

3662973-2-d  
in bautechnischer Hinsicht geprüft.  
Siehe Prüfbericht vom  
München, 27.01.2023

TUV zUD Industrie Service GmbH  
Prüfung für Standsicherheit  
von Windenergieanlagen

Der Bauteiler:  
Der Leiter:

Die erforderliche Erdaufschüttung auf dem Fundament, im Errichtungszustand, ist aus der Statik im Kapitel "Bauzustände" zu entnehmen.  
The required earth fill on the foundation in the erection process can be taken from the structural analysis in the chapter of "construction conditions".

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:

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:

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:

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.

|                                                                                                                                                                                  | BS-P (DIN 1054:2010) | BS-T (DIN 1054:2010) | BS-A (DIN 1054:2010) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Maximum characteristic loads (Y <sub>Ed</sub> =1,00) in the joint between bottom of foundation and soil (excl. earth cover fill, hydrostatic uplift and possible mounting parts) |                      |                      |                      |
| V <sub>k</sub> [kN]                                                                                                                                                              | 33936                | 33936                | 32507                |
| H <sub>k</sub> [kN]                                                                                                                                                              | 1404                 | 881                  | 1405                 |
| M <sub>k</sub> [kNm]                                                                                                                                                             | 171153               | 124207               | 193357               |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zementart:<br>grade of cement: | CEM II-Zemente alleine (exclusively)<br>oder CEM II-Zemente mit Flugasche (cement with fly ash)<br>oder CEM I- und CEM II-Zemente mit Flugasche (cement with fly ash)                                                                                                                         |
| Ausführung:<br>execution:      | Massenbeton nach DAStb-Richtlinie: Massive Bauteile aus Beton Fundamentausführung nach /<br>Bulk concrete according to DAStb-guideline: concrete structural elements<br>Foundation construction according to:<br>DIN EN 206-1 V.m. DIN 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & DIN EN 13670 V.m. DIN 1045-3 |

Fugenausbildung mit einem Vergussmörtel  
see associated layout complete tower

Grundlegende Anforderungen:  
Nominalwert des Gredtkorns der Gesteinskörnung:  
Fundamentkopf 4/16mm  
verbleibender Fundamentkörper 4/20mm  
Körner des Gredtkörners: 0/0,25  
Fruchttemperatur nach Angabe Betonhersteller  
jedoch maximal 30°C

Zusätzliche Anforderungen:  
Kriech- und schwindarmen Beton für die Außenbauteile.  
Geringe Hydratationswärme.  
Wegen der großen Bauteilabmessungen ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindeprozesses und Schwindwirkung ein Betonhersteller einzuschalten.  
Betonreparatur mit geringer Wärmeentwicklung während des Hydrationsprozesses wählen.  
Probekörper sind gemäß bauteilenbezogenen Prüfplan zu erstellen.  
Fundamentoberfläche nachverleihen.

Der Auftragnehmer ist für alle Maßnahmen sowie die  
korrekte Arbeitsausführung vor Ort verantwortlich.  
Es sind nur angegebene Maßstäbe zu verwenden.  
Jedliche 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 Betonhersteller auf  
die Betonigenschaften und die Witterungsverhältnisse abzustimmen.

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer  
.....Jahre/Wiedervorlage bis .....

3662973-2-d  
in bautechnischer Hinsicht geprüft.  
Siehe Prüfbericht vom  
München, 27.01.2023

TUV zUD Industrie Service GmbH  
Prüfung für Standsicherheit  
von Windenergieanlagen

Der Bauteiler:  
Der Leiter:

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

Mindestbiegeradiusdrehmesser / Minimum mandrel diameters

| Stababstände<br>bar spacing | Stababstände<br>bar spacing | Stababstände<br>bar spacing |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Stababstände<br>bar spacing | Stababstände<br>bar spacing | Stababstände<br>bar spacing |

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

Baustoffe  
Building materials

letzte  
Stababstände  
reinforcement steel

letzte  
Mattenposition  
reinforcement mat

Betondeckung [mm]  
Concrete cover

Expositionsklasse  
Exposure class

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

- dynamische Drehfeder der Gründung: K<sub>rot</sub> ≥ 310000 MNm/rad  
dynamic rotational stiffness

- statische Drehfeder der Gründung: K<sub>stat</sub> ≥ 50000 MNm/rad  
static rotational stiffness

ZUGEHÖRIGE PLANE  
Associated drawings

| Plan NR.:                  | Planbezeichnung                 | ASSOCIATED DRAWINGS                |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| DE_E22_001_XX_X_Uebersicht | Übersichtsplan Gesamtumriss     | layout complete tower              |
| DE_E22_003_XX_X_Erdung     | Erdungskonzept Übersichtsplan   | general plan with earthing concept |
| DE_E22_004_XX_X_Erdung     | Erdung für Fundament            | grounding for foundation           |
| DE_E22_006_XX_X_Bewehrung  | Bewehrungsplan Fundament        | foundation reinforcement plan      |
| DE_E22_081_XX_X_Uebersicht | Übersichtsplan Leerrohraustritt | layout pipe penetration            |
| M578                       | Spanngliedverankerung 3.0       | tendon anchoring 3.0               |
| DE_E22_M012_Montageplan    | Absteckung Montageplan          | staking out mounting frame         |

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON wind turbine generator  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

ENERCON Windenergieanlagen  
E-138 EPS E3-H1-160-ES-C-01  
DIBI 2012 WZ 2 / IEC WZ IIIA

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

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

Softcod-Datenname: DE\_E22\_005\_XX\_X\_Schalplan





Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 20.02.2023

**Prüfnummer:** 3662973-3-d

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit - Tiefgründung**  
Turm: E-138 EP3 E3-HT-160-ES C 01 (Bögl E22)  
Fundament: TgmA Ø = 23,00 m  
Windzone 2, Geländekategorie II,  
Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0

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

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

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

grbv wind GmbH  
Expo Plaza 10  
30539 Hannover  
Germany

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

**Geltungsdauer:** bis 19.02.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/AME

Dokument:  
3662973-3-d\_Enercon\_E-138  
EP3 E3-HT-160-ES-C-  
01\_E22\_TGmA\_23,0m.docx

Das Dokument besteht aus  
10 Seiten.  
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.



Industrie Service

| Revision | Datum      | Änderungen  |
|----------|------------|-------------|
| 0        | 20.02.2023 | Erstfassung |

## Inhaltsverzeichnis

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



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von GRBV wind GmbH erstellt, wurden zur Prüfung vorgelegt und mit rundem Prüfstempel versehen:

- [1] "Statische Berechnung - Windenergieanlage Enercon E138 EP3 E3 NH 160 m - Hybridturm E22 - Grundlagendokument zur statischen Bemessung von 4 Typenpfahlgründungen (Variante A bis D)",  
Enercon Dokument Nr.: D02653957-1, Rev. 02
- [2] "Statische Berechnung - Windenergieanlage Enercon E138 EP3 E3 NH 160 m - Hybridturm E22 - Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 22 Bohrpfählen Ø100 cm (Variante D)",  
Enercon-Dok.-Nr.: D02653961-1 Rev. 02
- [3] "Statische Berechnung - Windenergieanlage Enercon E138 EP3 E3 NH 160 m - Hybridturm E22 - Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 40 Ortbetonrammpfählen Ø56 cm (Variante C)",  
Enercon-Dok.-Nr.: D02653960-1 Rev. 02
- [4] "Statische Berechnung - Windenergieanlage Enercon E138 EP3 E3 NH 160 m - Hybridturm E22 - Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 46 Ortbetonrammpfählen Ø51 cm (Variante B)",  
Enercon-Dok.-Nr.: D02653959-1 Rev. 02
- [5] "Statische Berechnung - Windenergieanlage Enercon E138 EP3 E3 NH 160 m - Hybridturm E22 - Statische Bemessung der Pfahlgründung mit 54 Fertigteilrammpfählen 45/45 cm oder 54 Ortbetonrammpfählen Ø51 cm (Variante A)",  
Enercon-Dok.-Nr.: D02653958-1 Rev. 02
- [6] "Schalplan Fundament Ø23,00m", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Enercon Planbezeichnung: D02653970-1  
Dokument Nr. DE\_E22\_305\_XX\_X\_Schalplan, Rev. a
- [7] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante D", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. DE\_E22\_308\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. d  
Enercon Planbezeichnung: D02653968-2
- [8] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante C", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. DE\_E22\_208\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. c  
Enercon Planbezeichnung: D02653966-1
- [9] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante B", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. DE\_E22\_108\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. c  
Enercon Planbezeichnung: D02653964-1
- [10] "Übersichtsplan Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. DE\_E22\_008\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. c  
Enercon Planbezeichnung: D02653962-1
- [11] "Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante D", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. DE\_E22\_310\_XX\_X\_Bewehrung, Rev. c,  
Enercon Planbezeichnung: D02653969-3
- [12] "Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante C", erstellt von Max Bögl Wind AG,  
Dokument Nr. DE\_E22\_210\_XX\_X\_Bewehrung, Rev. c,  
Enercon Planbezeichnung: D02653967-3



Industrie Service

- [13] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante B“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Dokument Nr. DE\_E22\_110\_XX\_X\_Bewehrung, Rev. c, Enercon Planbezeichnung: D02653965-3
- [14] „Bewehrung Fundament Pfahlgründung, Pfahlvariante A.1 und A.2“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Dokument Nr. DE\_E22\_010\_XX\_X\_Bewehrung, Rev. d, Enercon Planbezeichnung: D02653963-4
- [15] „Fundamentdatenblatt Hybridturm Max Bögl Hybridturm DE\_E22, E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 Tiefgründung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Enercon Dokument Nr.: D02653956-2, Rev. 03
- [16] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E22“, Kapitel 10, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 3, ENERCON Dokument Nr. D02653940-3

## **1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [17] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm-E22“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Enercon Dokument Nr. D02653939-2, Projekt Nr. 21683-E22, Rev. 02
- [18] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i
- [19] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 0
- [20] „Übersichtsplan Gesamtturm, NH 160.0 m, Spannglieds. „SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG, Enercon Dokument Nr. D02653944-0, Dokument Nr. DE\_E22\_001\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. 0
- [21] „Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Bögl E22) Windenergieanlage Enercon E-138 EP3, 160 m Nabenhöhe Windzone 2, Geländekategorie II, Turbulenzkategorie A, Erdbebenzone 0“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3362973-1-d, Rev. 0

## **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



Industrie Service

- 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 und DIN 1054/A2:2015
  - /6/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
  - /7/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

### **3. Beschreibung**

Der Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES C 01 (Bögl E22) wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Tiefgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

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

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

Die Lasten werden über Stahlbetonpfähle in den tragfähigen Baugrund eingeleitet. Hierzu sind 3 verschiedene Pfahlkonfigurationen konzipiert und nachgewiesen worden, deren Pfahllängen standortabhängig festzulegen sind.

|                  | Variante A.1         | Variante A.2       | Variante B         | Variante C         | Variante D |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Anzahl Pfähle    | 54                   | 54                 | 46                 | 40                 | 22         |
| Pfahlart         | Fertigteil-rammpfahl | Ortbeton-rammpfahl | Ortbeton-rammpfahl | Ortbeton-rammpfahl | Bohrpfahl  |
| Pfahlquerschnitt | 45/45 cm             | Ø 51 cm            | Ø 51 cm            | Ø 56 cm            | Ø 100 cm   |

#### **3.1. Baustoffe**

Beton für Fundament C30/37 mit Expositionsklassen XA1, XC4, XD1, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/

Beton für Sockel C40/50 mit Expositionsklassen XA1, XC4, XD1, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/

Betonstahl B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/

#### **3.2. Lastannahmen**

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind in der Bauvorlage Fundamentlasten [17] angegeben. Diese Lasten wurden mit dem Prüfbericht zum Turm [21] bestätigt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden gemäß Turmprüfbericht [21] nicht berücksichtigt.

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/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

### 3.3. Baugrund

Die in Dokumenten [1] bis [5] unterstellten Bodenkennwerte für die horizontale Bettung der Pfähle betragen:

| Bodenschicht               | Tiefe (ab UK Fundament) [m] | $E_{s,stat}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| nicht tragfähiger Baugrund | 1 – 15                      | 1                                    |
| tragfähiger Baugrund       | > 15 – 20                   | 30                                   |

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit sowie der dynamischen horizontalen Wegfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Tiefgründung betragen gemäß [15]:

| $k_{h,dyn}$ | $k_{\varphi,dyn}$ | $k_{\varphi,stat}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|
| 250 MN/m    | 310 GNm/rad       | 50 GNm/rad         |

Der höchste für den Auftrieb in [1] bis [5] nachgewiesene Wasserstand liegt 0,306 m über Fundamentunterkante.

### 4. Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit der in Abschnitt 3 beschriebenen Tiefgründung mit Auftrieb mit den zugehörigen Pfahlsystem-Varianten 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 sowie über den Ankerplatten im Fundament werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.



Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in der Turm statischen Berechnung geführt und in [21] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [18] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [19] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [18] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [19] für dieses Fundament gültig ist.

In der statischen Berechnung [1] wurden die Nachweise der inneren Tragfähigkeit der Pfähle für angenommene Bodenschichtungen (siehe Abschnitt 3.3.) geführt. Die Nachweise werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

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

#### **Teilsicherheitsbeiwerte:**

In Dokumente [1] bis [5] wurde abweichend von den Regelungen in /1/ der Teilsicherheitsbeiwert für günstig wirkendes Eigengewicht für die Fundamentplatte mit 0,95 angesetzt. Die daraus resultierende minimale Wichte des Fundamentkörpers von 23,7 kN/m<sup>3</sup> ist durch entsprechende Qualitätssicherung auf der Baustelle sicher nachzuweisen, siehe Auflage 13.

#### **Imperfektionen:**

Die Lasten aus [17] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [21] für die Turmschiefstellung statt 5 mm/m lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt.

### **6. Prüfergebnis**

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

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

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

#### **Auflagen**

##### **Baugrund und Pfähle**

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 den Plänen [7] bis [10] 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. Für eine Errichtung in Erdbebengebieten ist durch den Bodengutachter generell die Eignung der Pfahlgründung unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse zu bestätigen.
6. 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.
7. 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.
8. Die getroffenen Annahmen bezüglich der äußeren Pfahltragfähigkeiten sind beim Rammen bzw. Bohren der Pfähle zu bestätigen.
9. Der unter dem Fundament anstehende gering tragfähige Boden muss entsprechend den Vorgaben in [7] bis [10] mindestens das Frischbetongewicht des ersten Betonierabschnitts aufnehmen können. Alternativ ist der Boden entsprechend den Angaben des Bodengutachters auszutauschen.

### **Ausführung Fundament**

10. 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.
11. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
12. 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.
13. Die in der Berechnung angesetzte Wichte des Stahlbetons des Fundaments von  $23,7 \text{ kN/m}^3$  ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
14. Das in [6] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.



Industrie Service

## Prüfintervalle

15. 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 'A. Molins Estellés', written over a horizontal line.

A. Molins Estellés

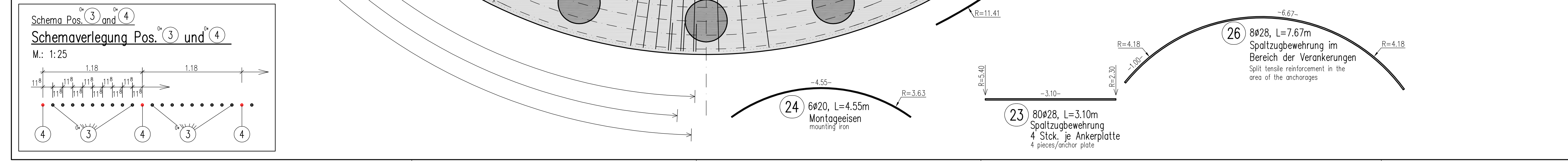
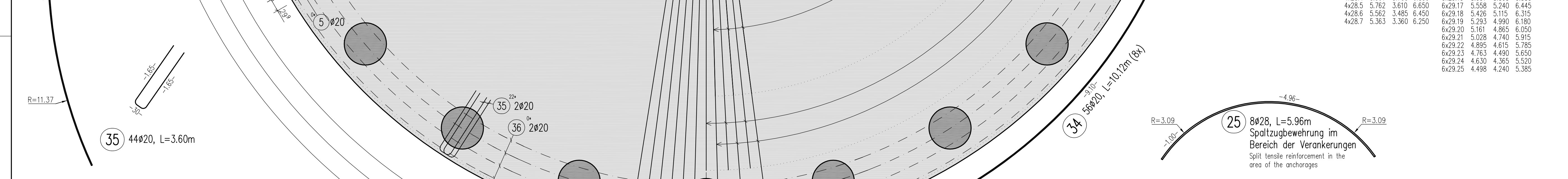
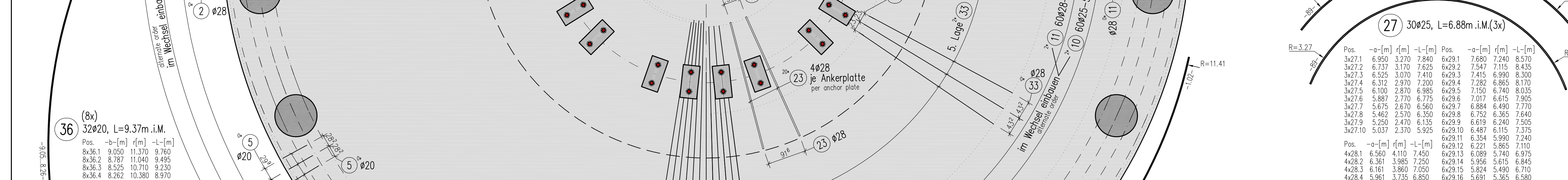
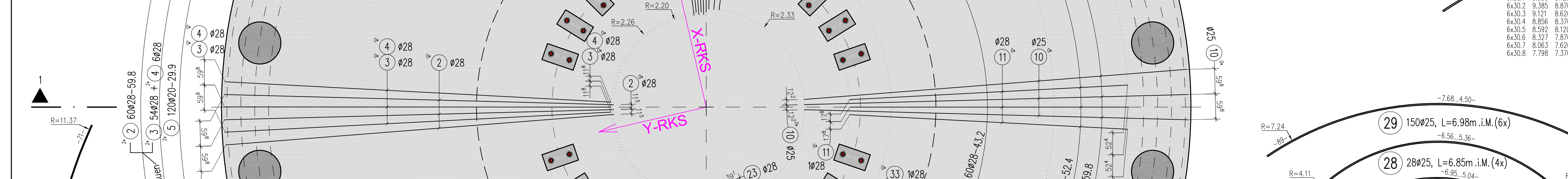
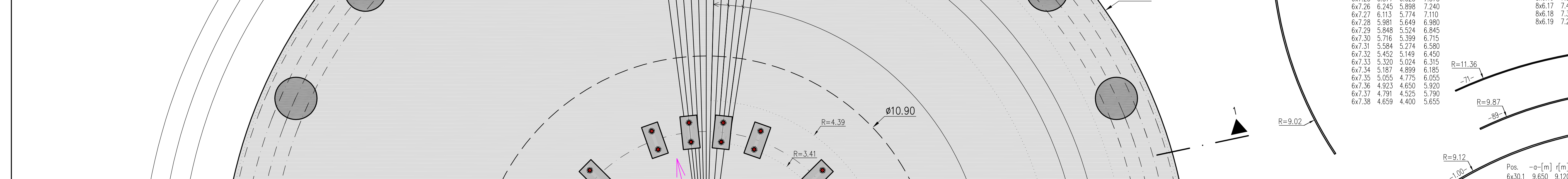
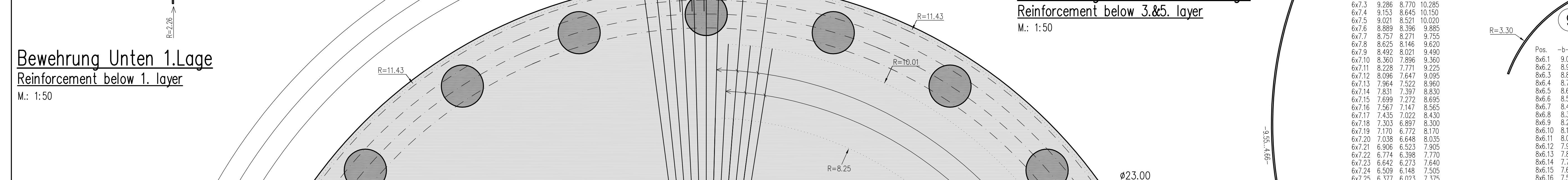
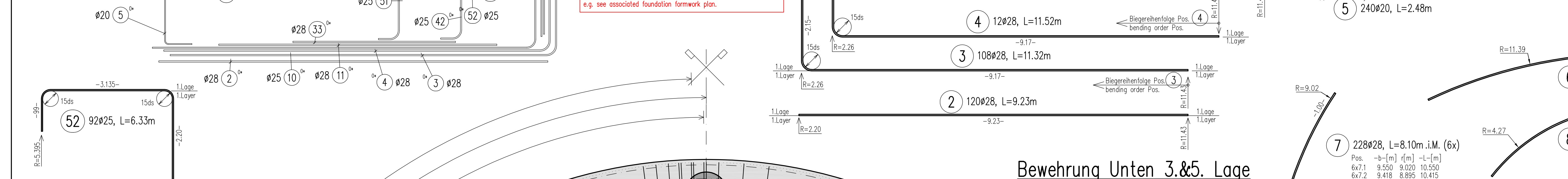
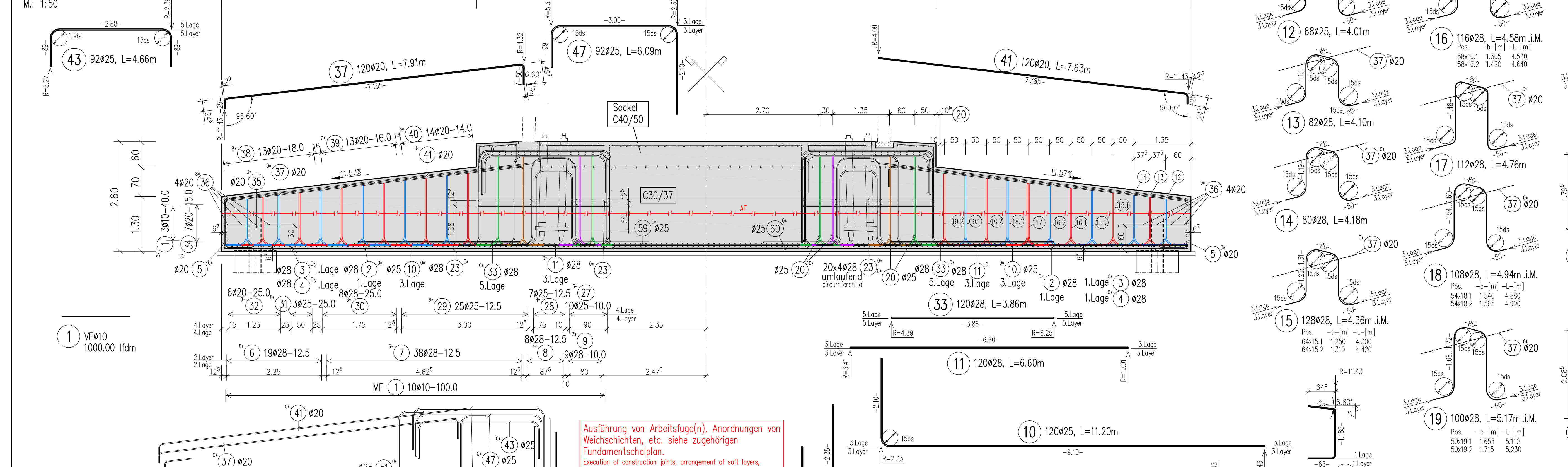
Der Leiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Mayer', written over a horizontal line.

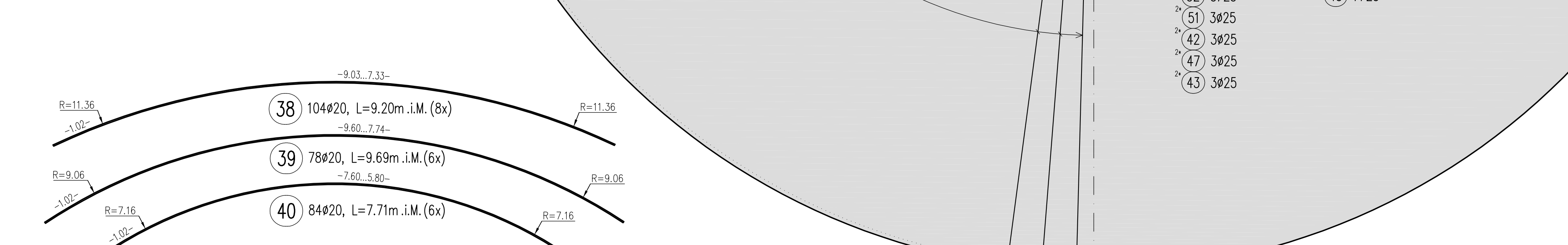
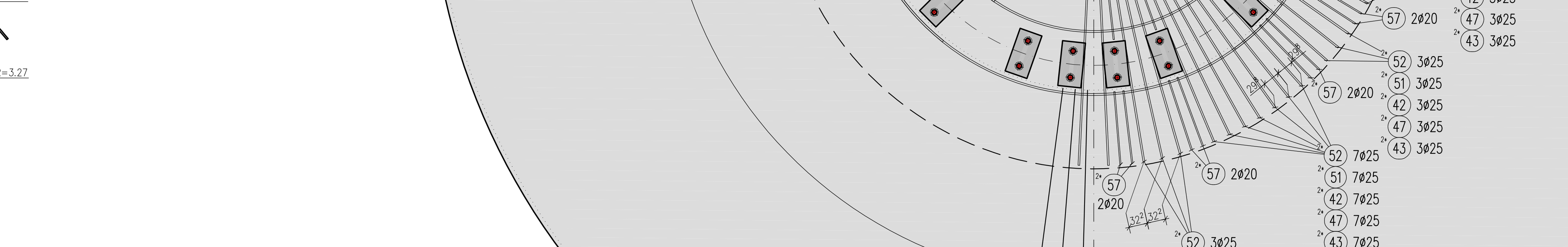
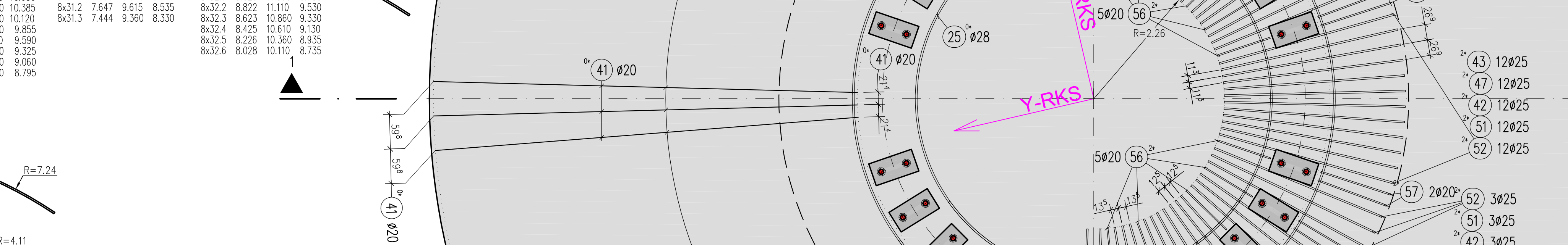
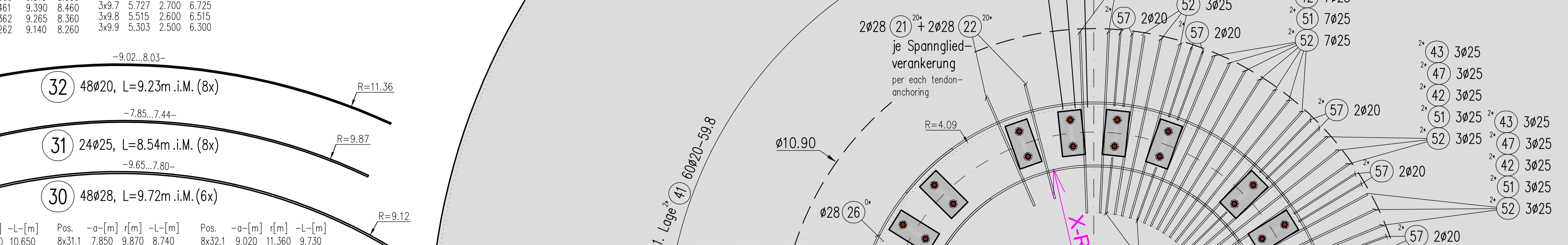
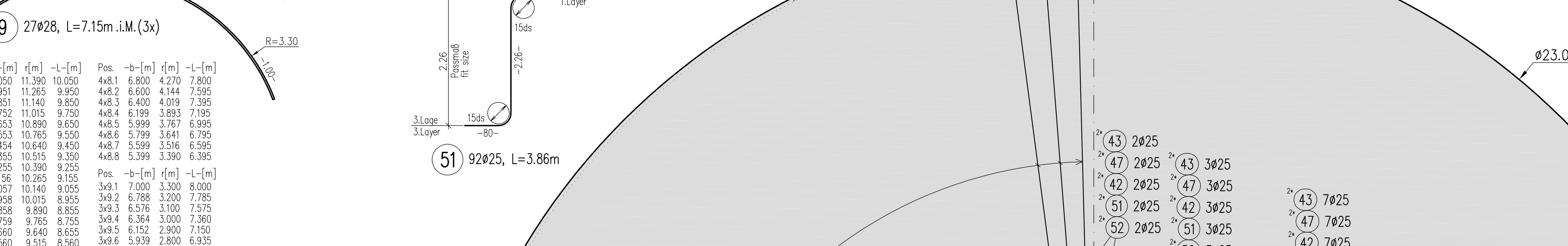
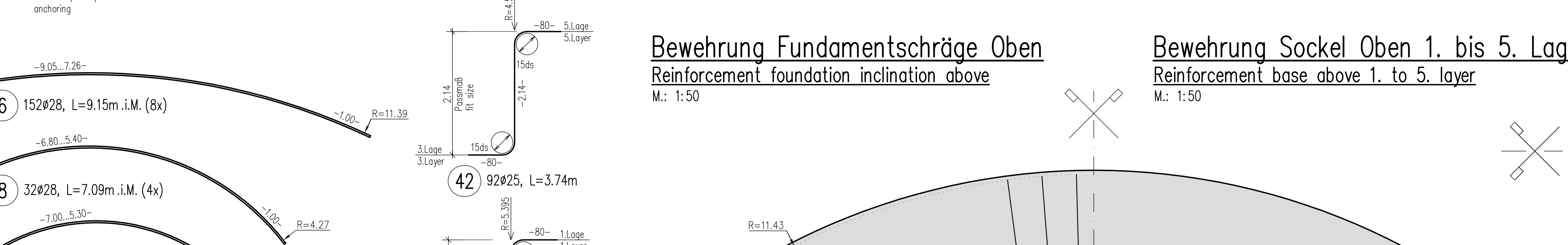
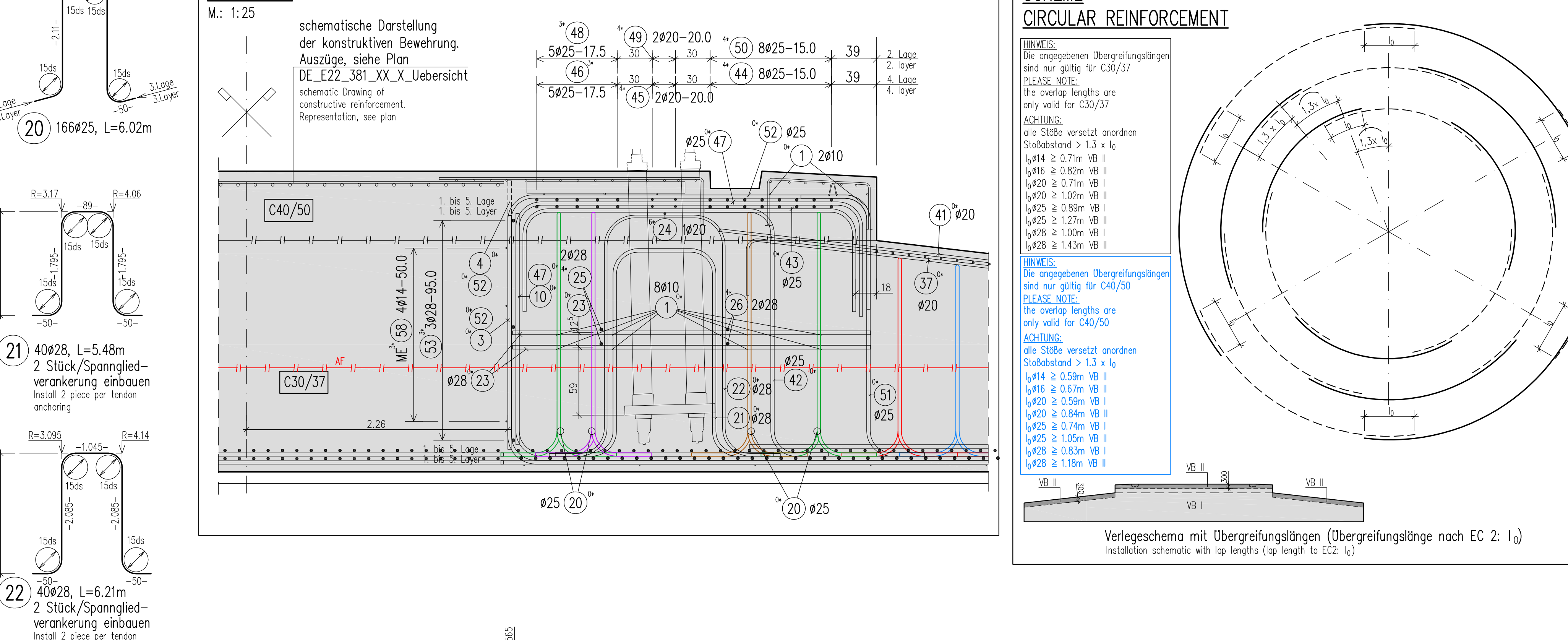
i.V. S. Mayer



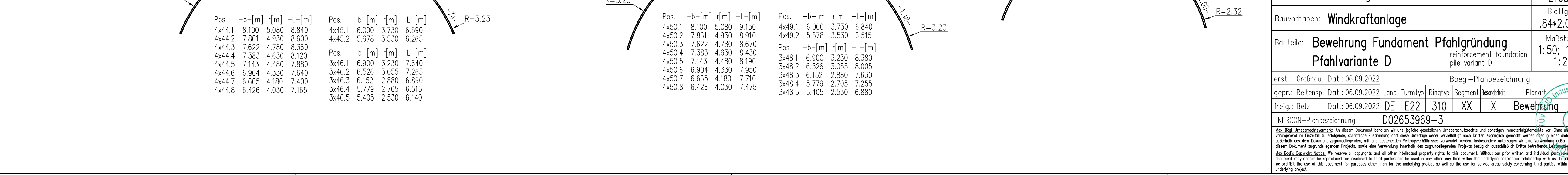
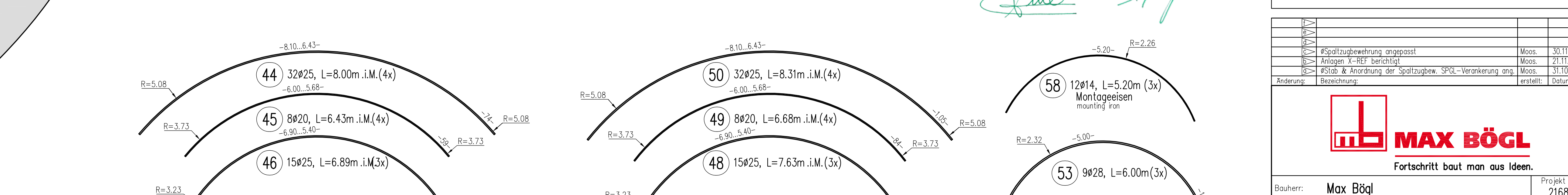
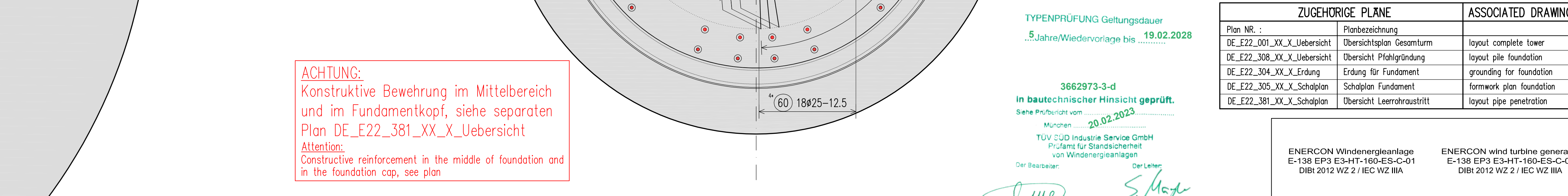
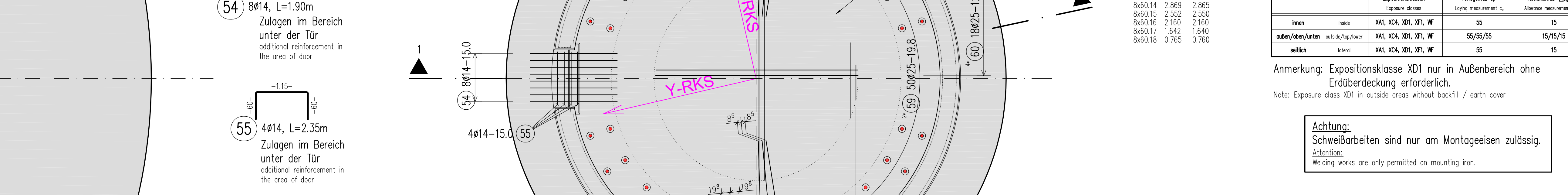
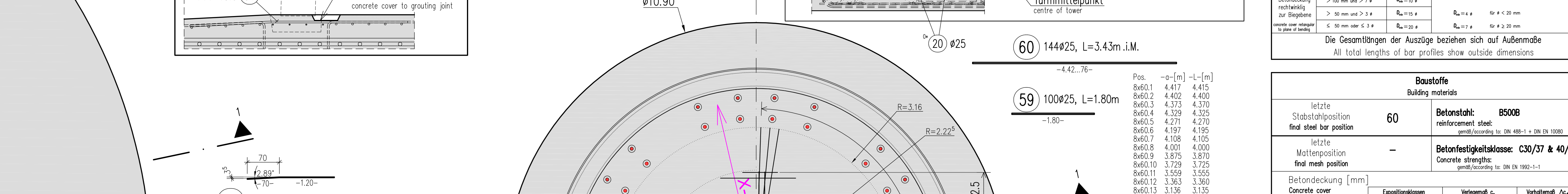
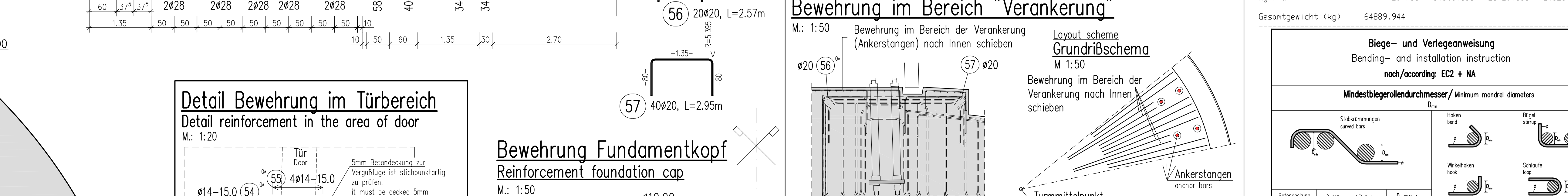
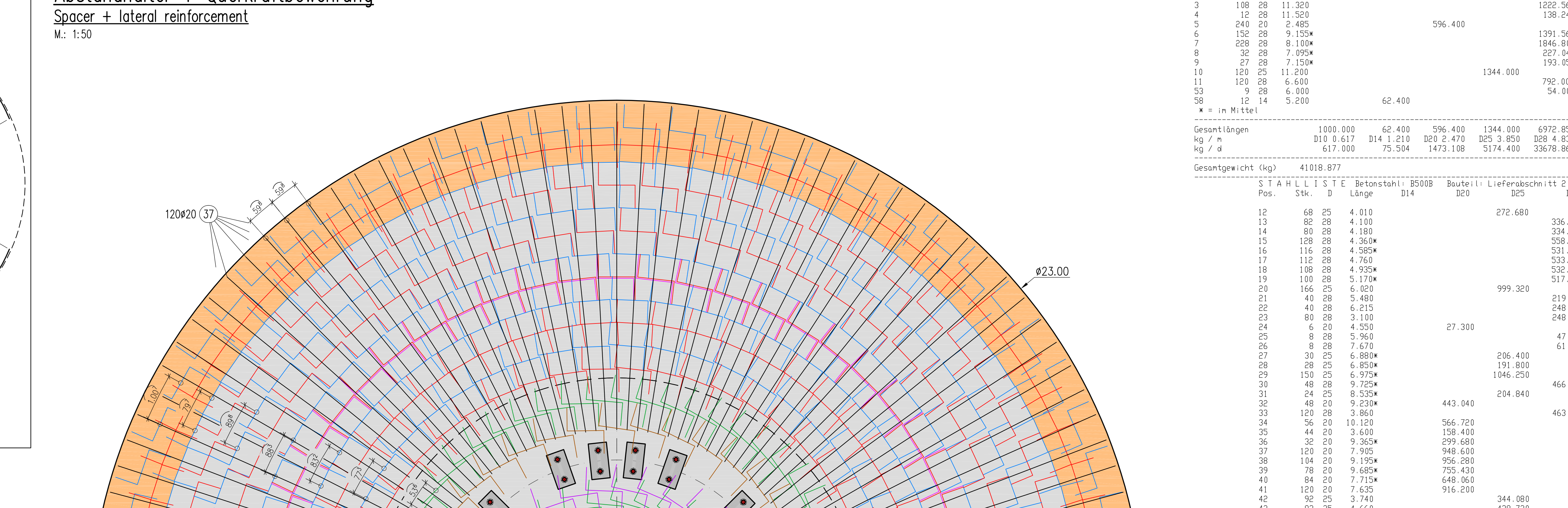
Schnitt 1-1  
Section 1-1  
M: 1:50



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



SCHEMA KREISBEWEHRUNG  
SCHEMA CIRCULAR REINFORCEMENT  
M: 1:50

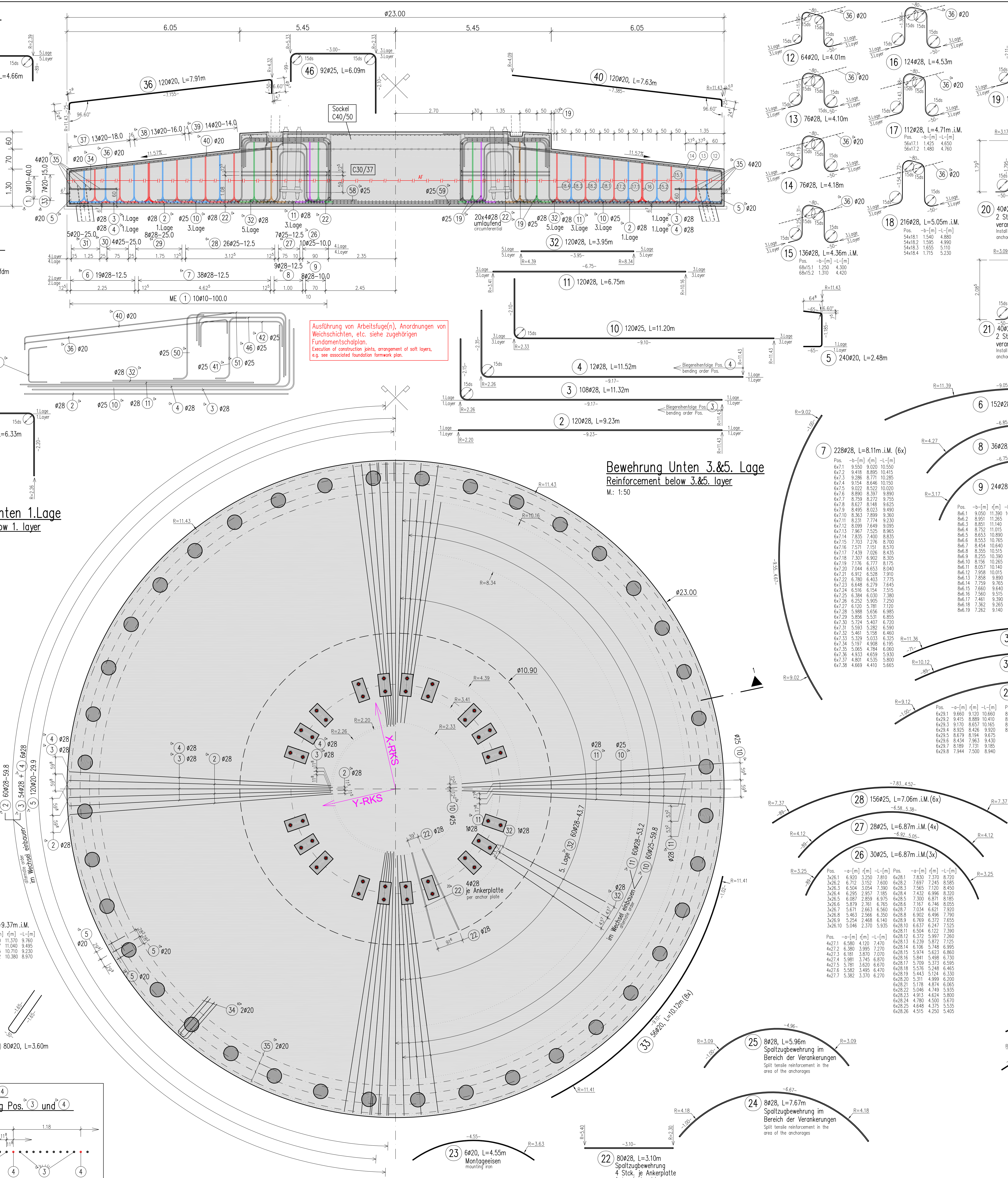
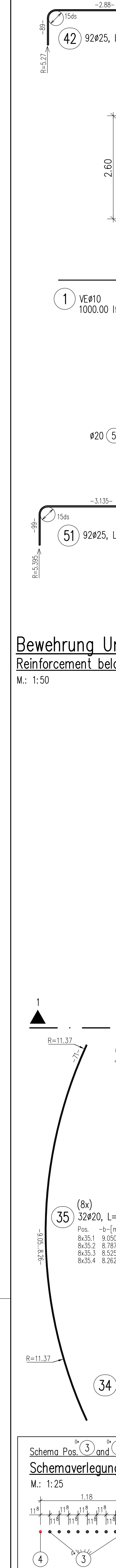


| STAHL LISTE Betonstahl: B500B Bauteil: Lieferabschnitt 1 |      |    |       |     |      |     |     |     |     |
|----------------------------------------------------------|------|----|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Pos.                                                     | Stk. | Ø  | Länge | Bil | Bil  | Bil | Bil | Bil | Bil |
| 1                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 2                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 3                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 4                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 5                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 6                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 7                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 8                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 9                                                        | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 10                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 11                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 12                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 13                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 14                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 15                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 16                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 17                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 18                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 19                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 20                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 21                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 22                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 23                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 24                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 25                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 26                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 27                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 28                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 29                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 30                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 31                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 32                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 33                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 34                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 35                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 36                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 37                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 38                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 39                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 40                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 41                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 42                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 43                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 44                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 45                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 46                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 47                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 48                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 49                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 50                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 51                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 52                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 53                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 54                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 55                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 56                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 57                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 58                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 59                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 60                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 61                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 62                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 63                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 64                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 65                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 66                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 67                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 68                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 69                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 70                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 71                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 72                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 73                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 74                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 75                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 76                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 77                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 78                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 79                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 80                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 81                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 82                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 83                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 84                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 85                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 86                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 87                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 88                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 89                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 90                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 91                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 92                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 93                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 94                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 95                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 96                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 97                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 98                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 99                                                       | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |
| 100                                                      | 1    | 16 | 1000  | 800 | 1000 | 800 |     |     |     |

# Schnitt 1-1

Section 1-1

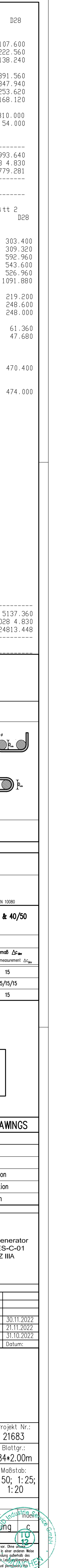
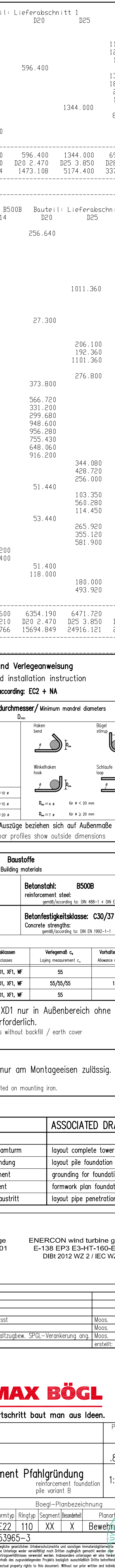
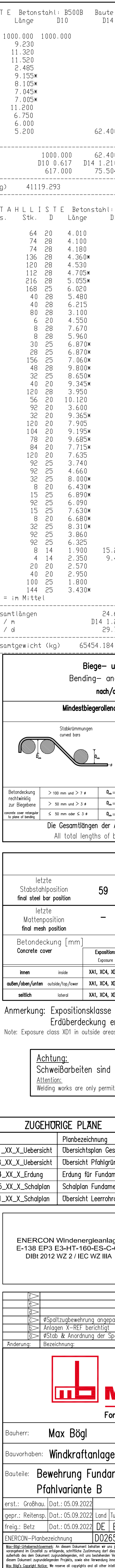
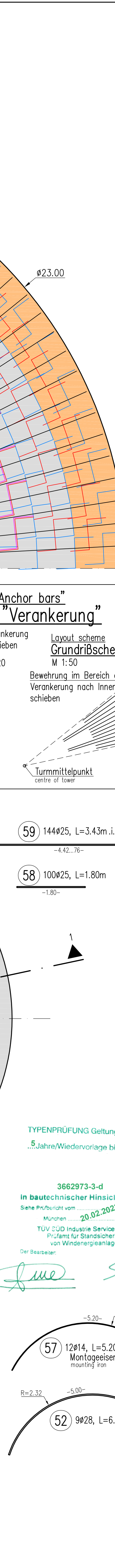
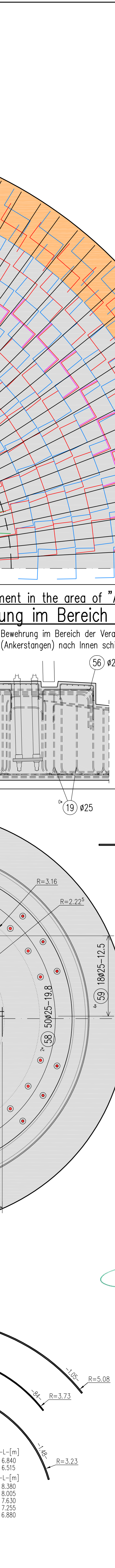
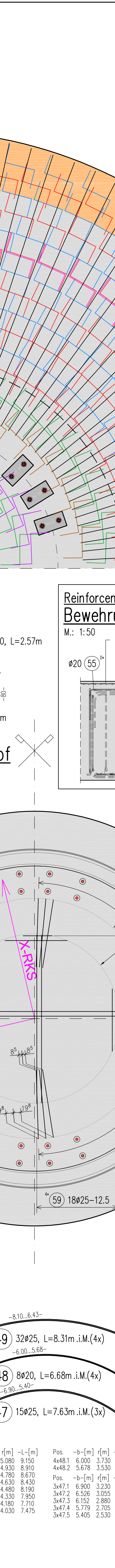
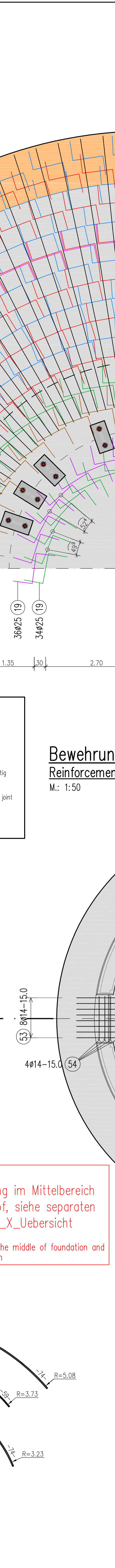
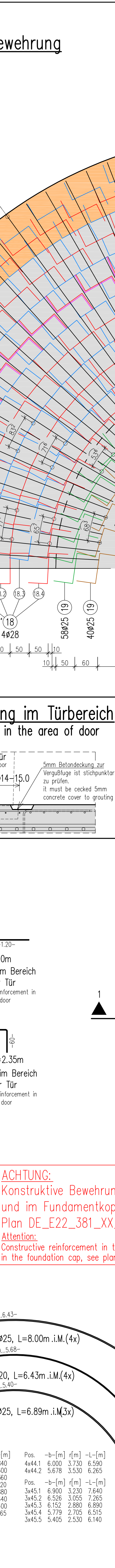
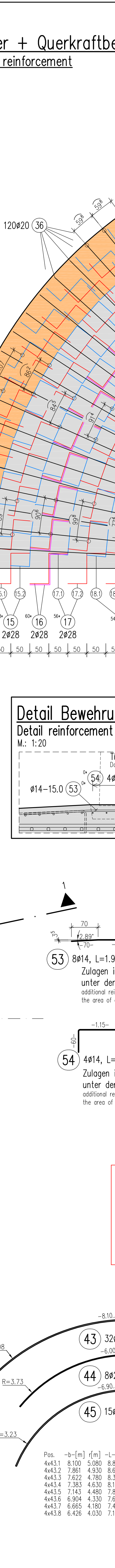
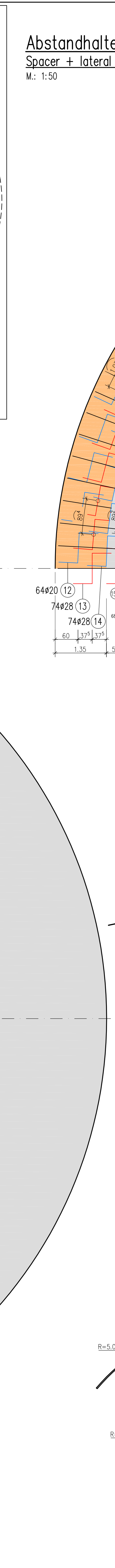
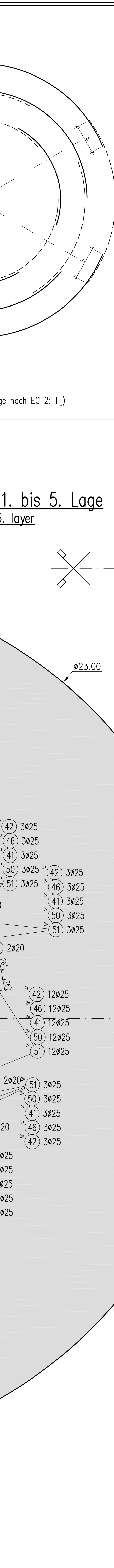
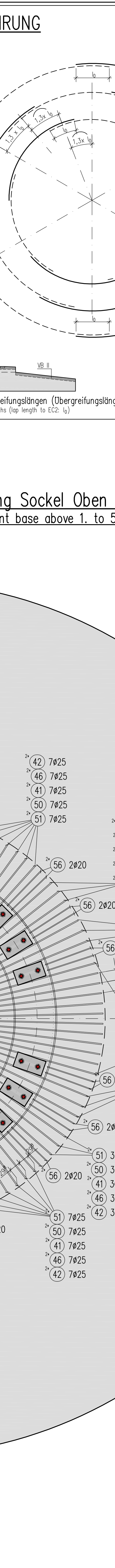
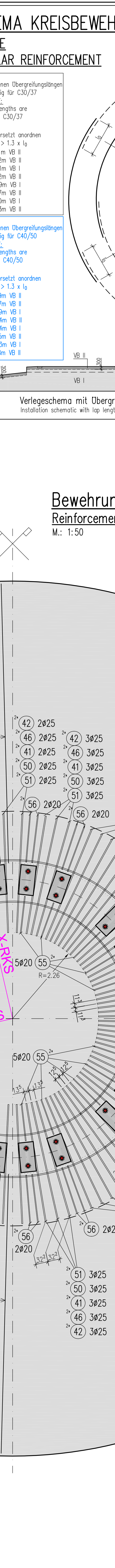
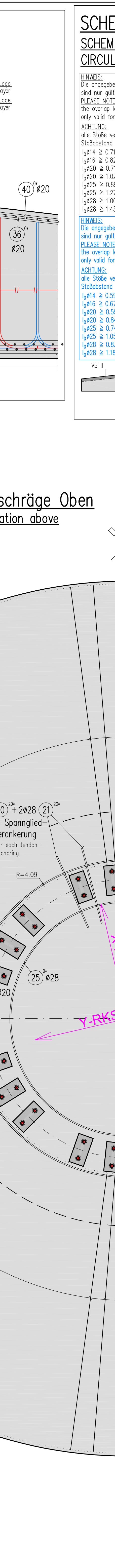
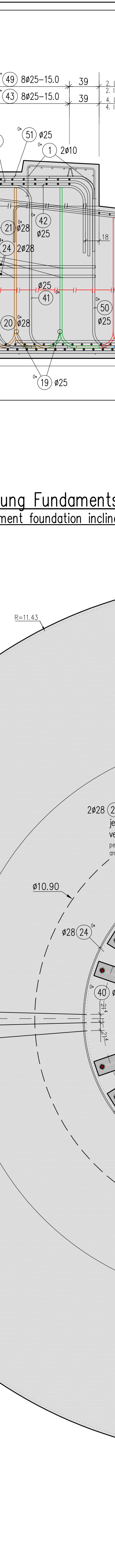
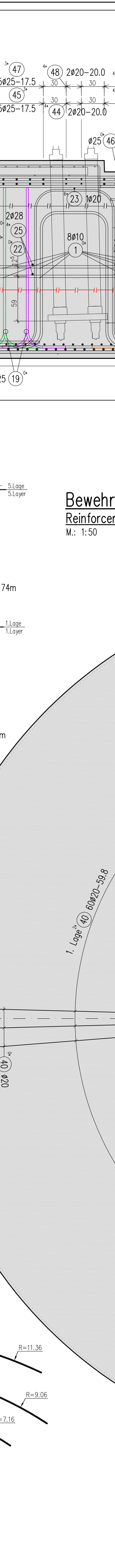
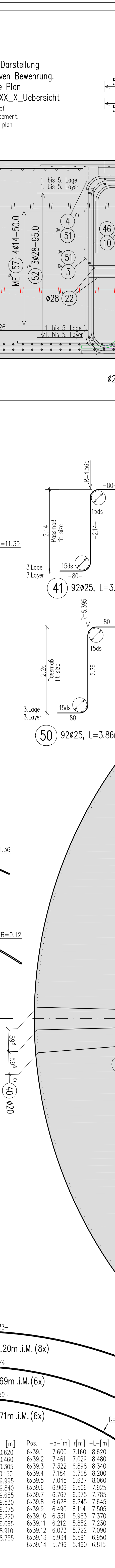
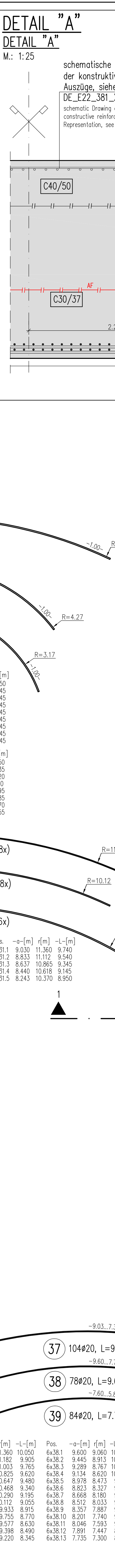
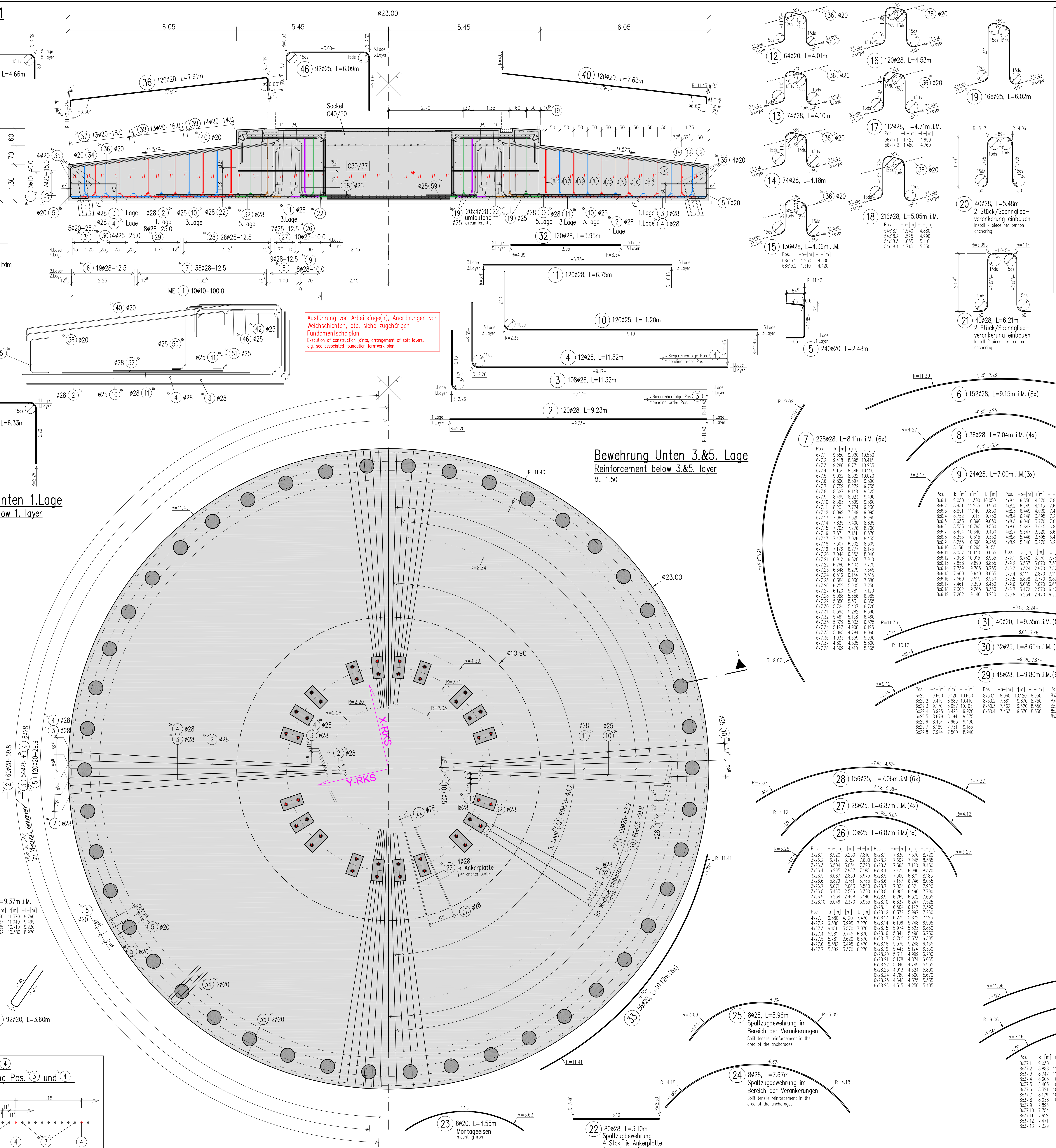
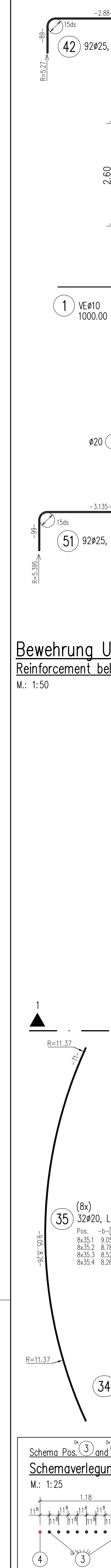
M: 1:50

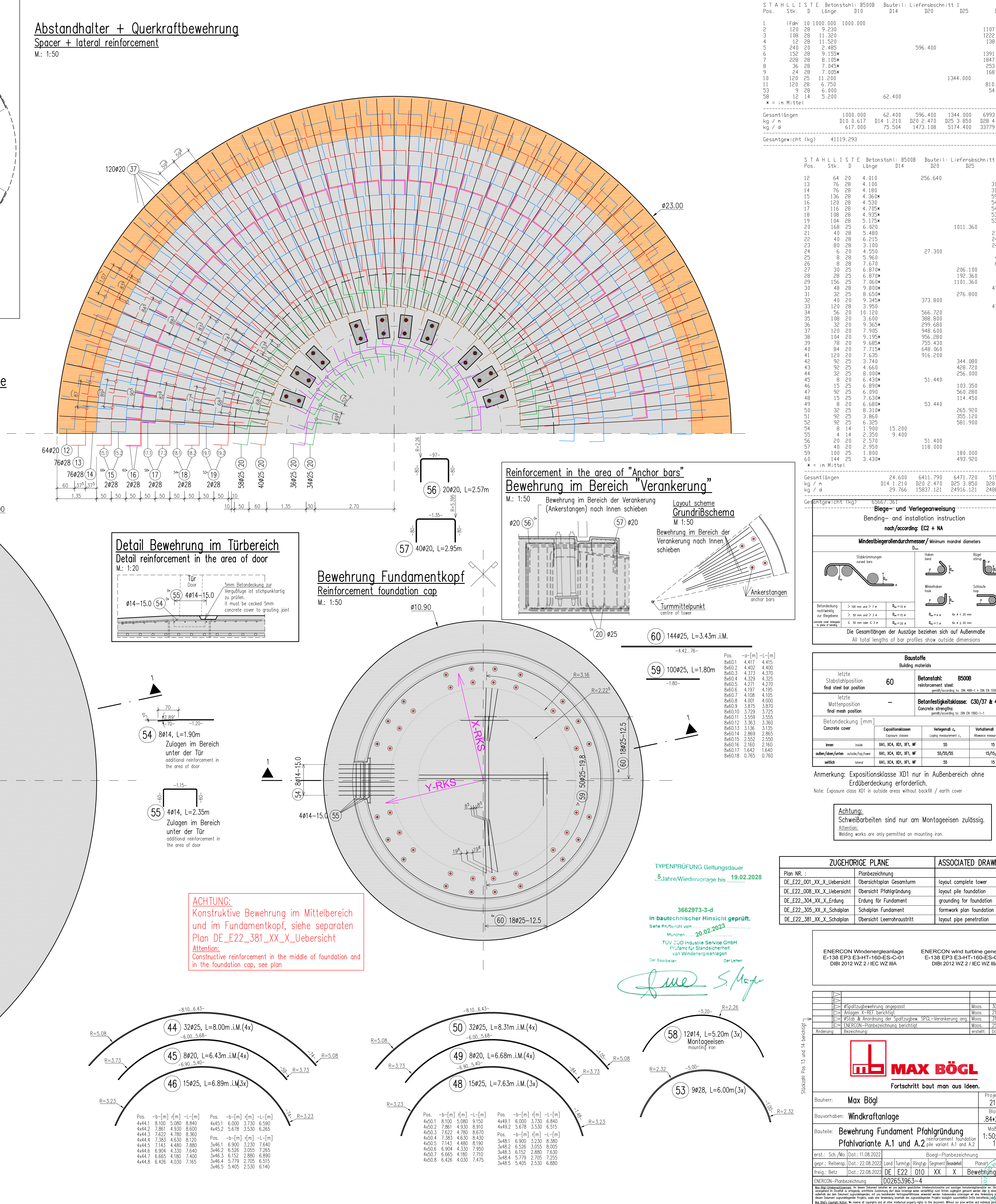
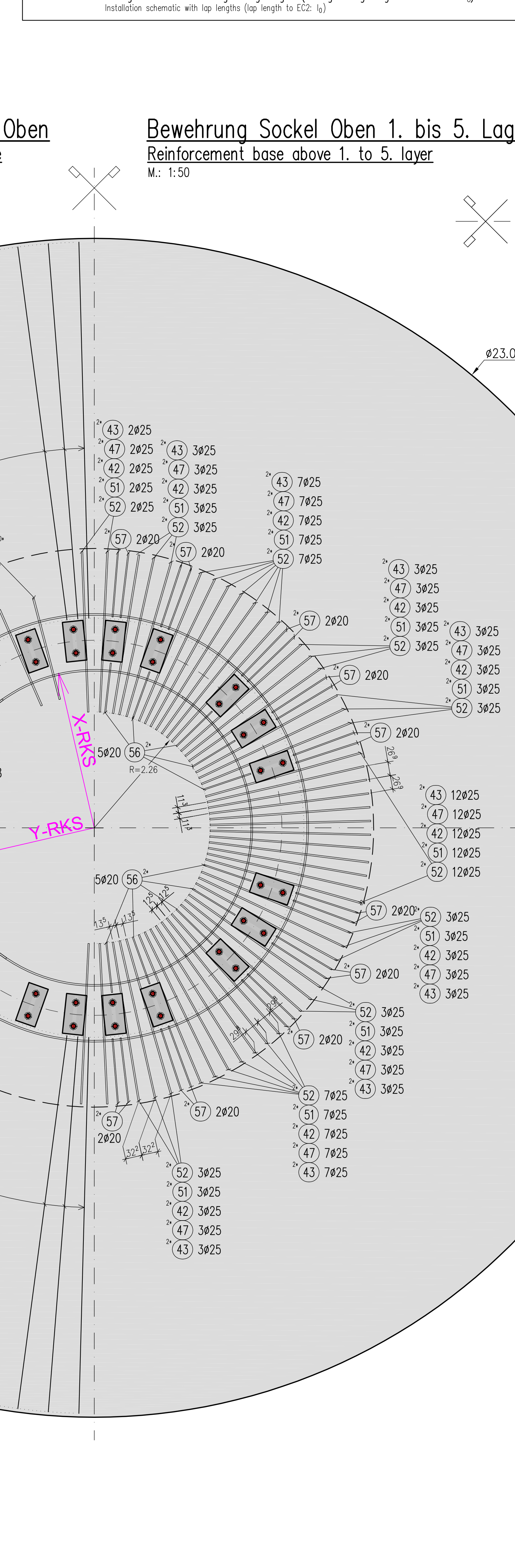
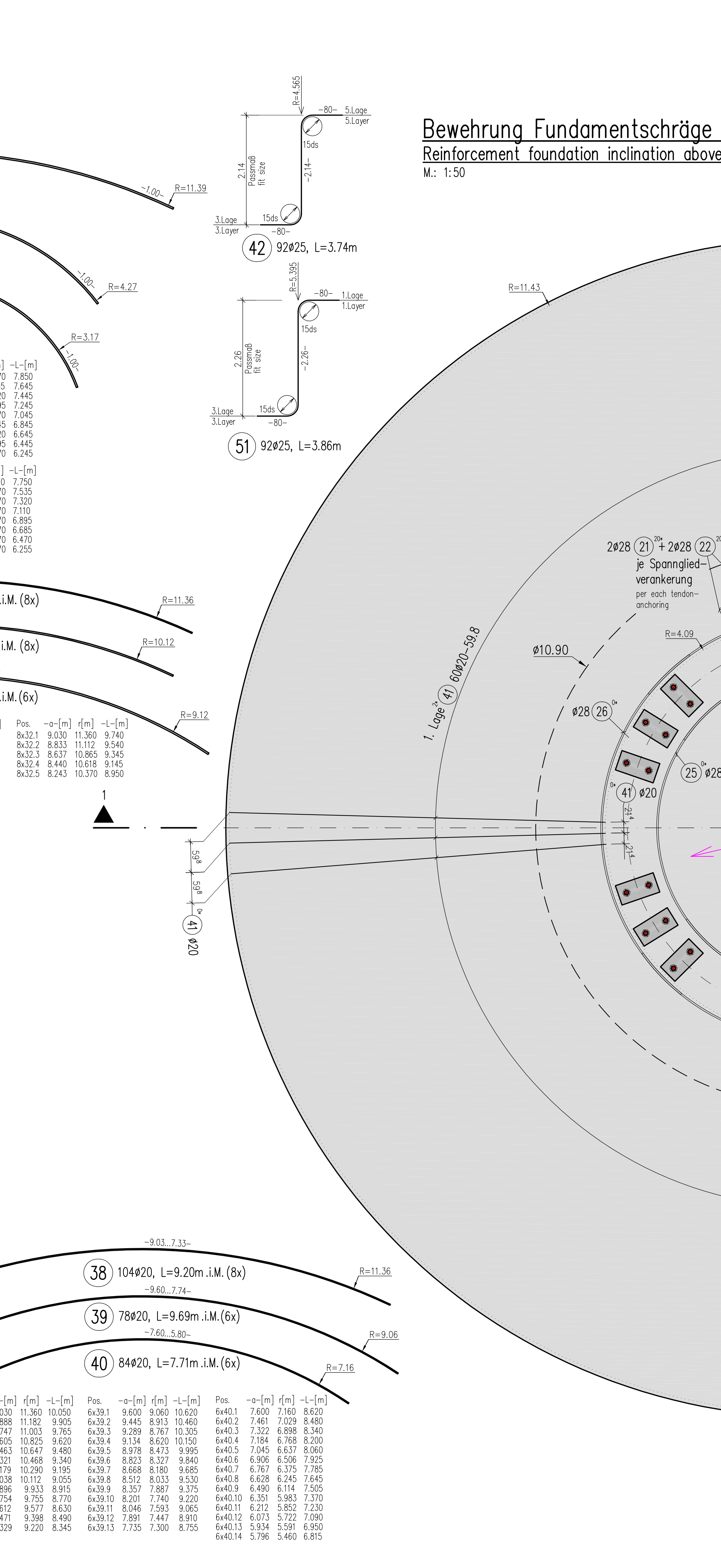
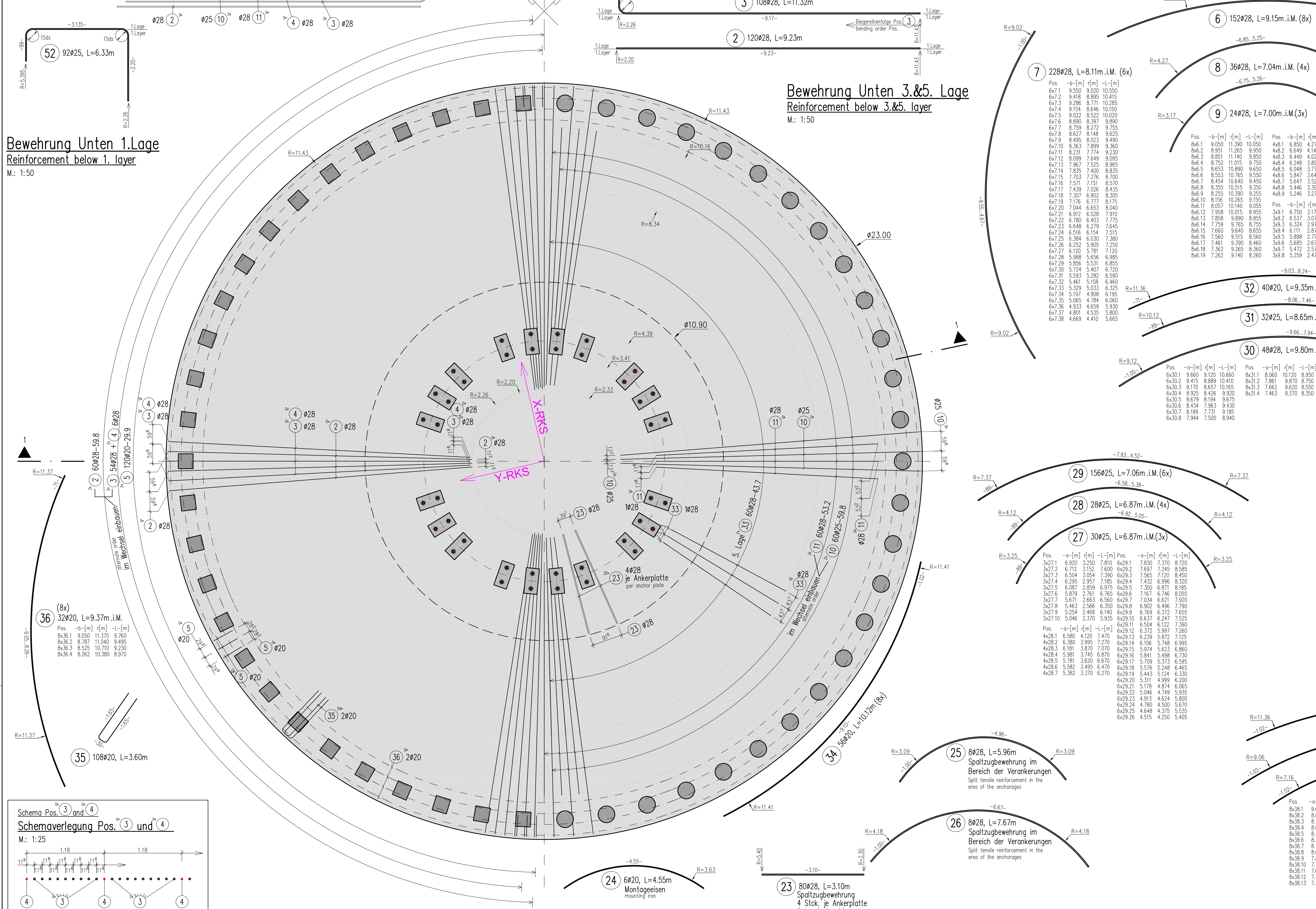


SCHNITT 1-1

Section 1-1

M: 1:50



Section 1-1  
M.: 1:50

|                                                                                                                                                                          |  |  |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:  <b>MAX BÖGL</b><br><small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> |  |  | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3    NH / HH: 160 m    Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22                                                                                    |  |  | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

### Max Bögl Hybridturm DE\_E22

#### E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 Tiefgründung / *Deep foundation*

Projektnummer /  
*Project number:*

21683-E22

Anlagenhersteller /  
*Turbine manufacturer:*

Enercon GmbH  
 Dreekamp 5  
 DE-26605 Aurich

Windenergieanlage /  
*Wind turbine:*

Enercon E-138 EP3 E3

Nabenhöhe /  
*Hub height:*

160 m

**TYPENPRÜFUNG** Geltungsdauer  
**5 Jahre/Wiedervorlage bis 19.02.2028**

Bauteil /  
*Component:*

Tiefgründung /  
*Deep foundation*

Land /  
*Country:*

Deutschland **3662973-3-d**  
**In bautechnischer Hinsicht geprüft.**  
 Siehe Prüfbericht vom .....

Verfasser / *Author:*

Max Bögl Wind AG München .....  
 Max-Bögl-Str. 1 TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
 DE-92369 Sengenthal Prüfstelle für Standsicherheit  
 von Windenergieanlagen

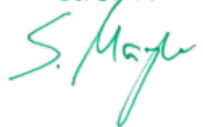
Enercon Dokumentennr./  
 Enercon Document no.:

D02653956-3

Der Bearbeiter:



Der Leiter:



Datum / *Date:*

20.01.2023

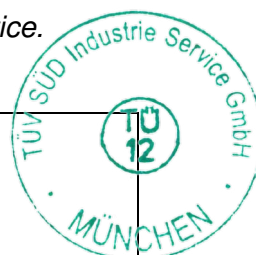
Revision / *Revision:*

03

Technische Änderungen vorbehalten. / *Subject to technical change without prior notice.*

Bauteil /  
*Component:* Typenpfahlgründung / *Type pile foundation*

Block /  
*Chapter:*



|                                                                                                                                                                          |                |                                    |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:  <b>MAX BÖGL</b><br><small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> |                |                                    | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                           | NH / HH: 160 m | Hybriddturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

| Revision /<br><i>Revision</i> | Datum /<br><i>Date</i> | Beschreibung /<br><i>Description</i>               | Bearbeiter /<br><i>Author</i> |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| -                             | 08.07.2022             | Erstausgabe / <i>First release</i>                 | C. von Oesen                  |
| 01                            | 16.09.2022             | Werte auf Basis statischer Berechnung aktualisiert | Th. Betz                      |
| 02                            | 28.10.2022             | Textliche Anpassung in Kapitel 5.5                 | Th. Betz                      |
| 03                            | 20.01.2023             | Anforderungen an die Bodendrehfeder erhöht         | Th. Betz                      |

Datum / *Date*: 20.01.2023

Aufgestellt /  
*Prepared by*:

*i.V. Th. Betz*

i.V. Thorsten Betz

Geprüft /  
*Checked by*:

*i.A. Plou*

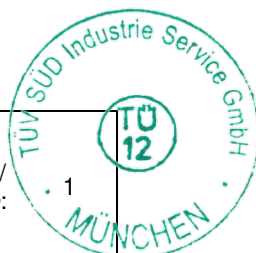
i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft und freigegeben /  
*Checked and approved by*:

*i.V. Th. Betz*

i.V. Thorsten Betz

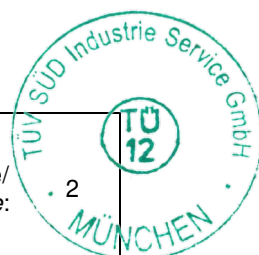
|                                                                          |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i> | Seite/<br>Page: 1 |
| Block /<br>Chapter: Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i>      |                   |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                                   |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;">  <div style="margin-left: 5px;"> <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                                                                                                            | NH / HH: 160 m | Hybriddurm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## Inhaltsverzeichnis / *Table of contents*

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Änderungsverzeichnis / <i>Table of revision</i></b>                                                                 | <b>1</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis / <i>Table of contents</i></b>                                                                   | <b>2</b>  |
| <b>1 Allgemeines / <i>General</i></b>                                                                                  | <b>3</b>  |
| <b>2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i></b>                                     | <b>4</b>  |
| <b>3 Belastung / <i>Loading</i></b>                                                                                    | <b>6</b>  |
| 3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / <i>Own weight, soil cover and buoyancy</i>                           | 6         |
| 3.2 Turmlasten / <i>Tower loads</i>                                                                                    | 7         |
| 3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / <i>BS-P, BS-T and BS-A</i>                                                                 | 7         |
| 3.2.2 GZT und GZG / <i>ULS and SLS</i>                                                                                 | 8         |
| <b>4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i></b>                                                      | <b>9</b>  |
| <b>5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / <i>Pile loads and stresses</i></b>                                               | <b>10</b> |
| 5.1 Allgemeines / <i>General remarks</i>                                                                               | 10        |
| 5.2 Variante A: Fertigteil- oder Ortbetonrammpfähle / <i>Variant A: pre-cast driven or cast in situ concrete piles</i> | 11        |
| 5.3 Variante B: Ortbetonrammpfähle / <i>Variant B: Rammed in-situ concrete piles</i>                                   | 12        |
| 5.4 Variante C: Ortbetonrammpfähle / <i>Variant C: Rammed in-situ concrete piles</i>                                   | 13        |
| 5.5 Variante D: Bohrpfähle / <i>Variant D: Bored piles</i>                                                             | 14        |
| 5.6 Bemessungswert der Pfahlschnittgrößen / <i>Pile stress resultant design value</i>                                  | 15        |



|                                                                                                                                        |  |  |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:  Fortschritt baut man aus Ideen |  |  | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3    NH / HH: 160 m    Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22                                                  |  |  | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## 1 Allgemeines / General

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

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

### Turm / Tower

#### Beschreibung / Description

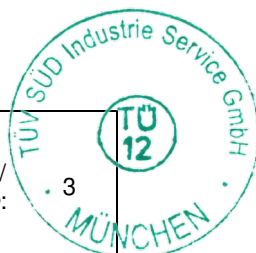
|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Turmtyp / Tower type      | Max Bögl hybrid tower E22 |
| Hersteller / Manufacturer | Enercon                   |
| Land / Country            | DE                        |
| Leistung / Power          | 4.XX MW                   |
| Rotor / Rotor             | E-138 EP3                 |
| Nabenhöhe / Hub height    | 160 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\_E22\_001\_XX\_X\_Uebersicht

|                                                                   |                   |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation | Seite/<br>Page: 3 |
| Block /<br>Chapter: 1 Allgemeines / General                       |                   |

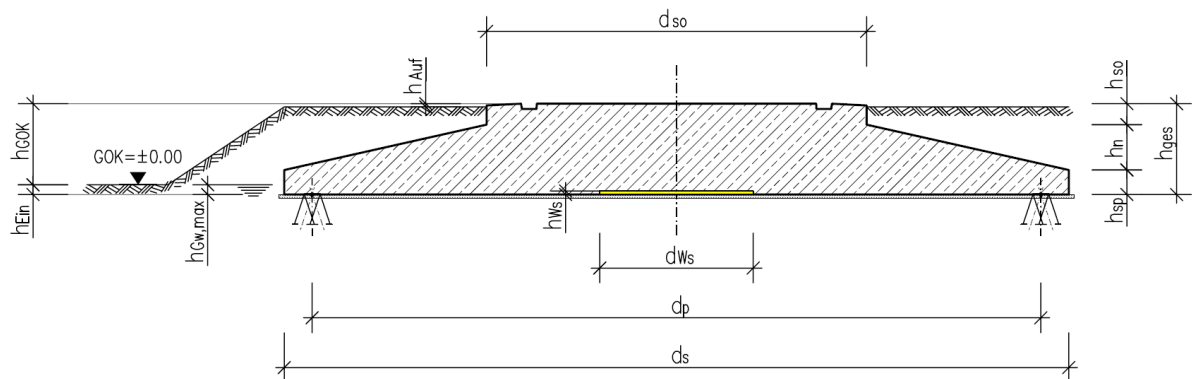


|                                |                |                                   |                                                                                  |                               |
|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:         |                |                                   |  | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
|                                |                |                                   |                                                                                  | Datum / Date:<br>28.10.2022   |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3 | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 |                                                                                  |                               |

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

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

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



### Geometrie / Geometry

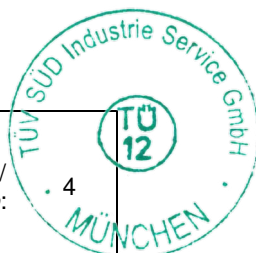
#### Betonkörper / *Concrete body*

|                                                                                                                       |           |   |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|---------|
| Außendurchmesser / <i>Outer diameter</i>                                                                              | $d_s$     | = | 23,00 m |
| Sockeldurchmesser / <i>Base diameter</i>                                                                              | $d_{so}$  | = | 10,90 m |
| Weichschichtdurchmesser / <i>Soft layer diameter</i>                                                                  | $d_{Ws}$  | = | 4,40 m  |
| Pfahlkreisdurchmesser Var. A, B, C                                                                                    | $d_p$     | = | 21,80 m |
| Pfahlkreisdurchmesser Var. D                                                                                          | $d_p$     | = | 21,40 m |
| Fundamenthöhe / <i>Foundation height</i>                                                                              | $h_{ges}$ | = | 2,60 m  |
| Spornhöhe / <i>Outer height</i>                                                                                       | $h_{sp}$  | = | 1,30 m  |
| Spornneigungshöhe / <i>Nose incline height</i>                                                                        | $h_n$     | = | 0,70 m  |
| Sockelhöhe / <i>Base height</i>                                                                                       | $h_{so}$  | = | 0,60 m  |
| Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante /<br><i>Separation foundation top edge - ground level</i>                 | $h_{GOK}$ | = | 2,294 m |
| Einbindetiefe / <i>Embedment depth</i>                                                                                | $h_{Ein}$ | = | 0,306 m |
| Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungsoberkante /<br><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 /<br><i>Component:</i> | Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>                            |
| Block /<br><i>Chapter:</i>     | 2 Geometrie, Material und Massen / <i>Geometry, material and dimensions</i> |

Seite/  
Page:

4



|                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |                                   |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;"> <br/> <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                                                                          | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## Material und Massen / Material and dimensions

### Beton / Concrete

Gesamtvolumen / Total volume  $V_c = 758 \text{ m}^3$

Volumen Sockelbereich / Volumen base area  $V_{BG1} = 52 \text{ m}^3$   
 Betongüte Sockelbereich / Concrete strength base area C40/50

Volumen Plattenbereich / Volumen plate area  $V_{BG2} = 706 \text{ m}^3$   
 Betongüte Plattenbereich / Concrete strength plate area C30/37

### Betonstahl / Reinforcement steel

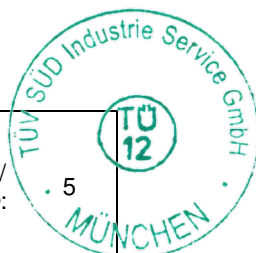
Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bewehrungsgehalt / Reinforcement ratio 145 kg/m<sup>3</sup>

Bewehrungstonnage / Reinforcement weight 103 t

| Pfähle / Piles |                                                                                                                        |                         |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Var. A         | 54 Fertigteilrammpfähle nach innen und außen geneigt /<br>54 pre-cast driven piles inclined inwards and outwards       | a/b 45/45 cm<br>Ø 51 cm |
| Var. B         | 46 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt /<br>46 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards | Ø 51 cm                 |
| Var. C         | 40 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt /<br>40 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards | Ø 56 cm                 |
| Var. D         | 22 Bohrpfähle vertikal /<br>22 bored piles vertical                                                                    | Ø 100 cm                |

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



|                                                                                                                                                                                                                                                                    |                |                                   |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                                                                     | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

### 3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

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

The followings loads were applied in the foundation design.

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

Enercon GmbH:

D02452262\_0.3\_en\_Calculation\_ E-138 EP3; LL03; E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx

#### 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>         | $G_c$      | = | 18950 kN               |

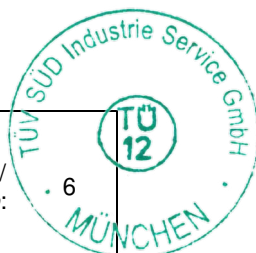
##### Überschüttung / Backfill

|                                                               |                        |   |                        |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|---|------------------------|
| Höhe Erdüberschüttung innen / <i>Inner thickness backfill</i> | $t_{Max\ddot{U}s,inn}$ | = | 0,500 m                |
| Höhe Erdüberschüttung außen / <i>Outer thickness backfill</i> | $t_{Max\ddot{U}s,aus}$ | = | 1,200 m                |
| Bodenwichte / <i>Soil specific weight</i>                     | $\gamma_{\ddot{U}s}$   | = | 18,0 kN/m <sup>3</sup> |
| Gewicht Erdüberschüttung / <i>Soil cover weight</i>           | $G_{Max\ddot{U}s}$     | = | 5 172 kN               |

##### Auftrieb / Buoyancy

|                                           |              |   |          |
|-------------------------------------------|--------------|---|----------|
| Höhe Wassersäule / <i>Buoyancy height</i> | $h_{Gw,max}$ | = | 0,306 m  |
| Auftriebskraft / <i>Buoyancy force</i>    | $G_{Gw,max}$ | = | -1271 kN |

|                                                                          |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i> | Seite/<br>Page: 6 |
| Block /<br>Chapter: 3 Belastung / <i>Loading</i>                         |                   |



|                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |  |  | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3    NH / HH: 160 m    Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22                                                                                                                                                                              |  |  | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## 3.2 Turmlasten / *Tower loads*

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

Nachfolgend sind die Lasten für die bodenmechanischen Nachweise angegeben.

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

The loads for geotechnical verifications are specified below.

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

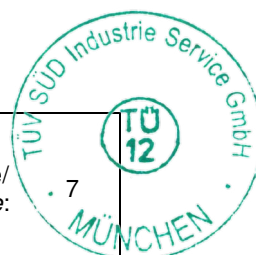
| LF / LC                      | BS-P    | BS-T    | BS-A    |
|------------------------------|---------|---------|---------|
| <b>V<sub>k</sub></b> [kN]    | 36 242  | 36 242  | 35 713  |
| <b>H<sub>k</sub></b> [kN]    | 1 404   | 881     | 1 495   |
| <b>M<sub>b,k</sub></b> [kNm] | 171 153 | 124 207 | 193 357 |

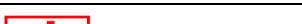
Lasten an Fundamentunterkante / *Loads at the foundation bottom*

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 /<br>Component: | Typenpfahlgründung / Type pile foundation | Seite/<br>Page: 7 |
| Block /<br>Chapter:     | 3 Belastung / Loading                     |                   |



|                                |  |                                    |                                                                                 |                               |
|--------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:         |  |                                    |  | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3 |  |                                    |                                                                                 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |
| NH / HH: 160 m                 |  | Hybriddturm / Hybrid tower: DE-E22 |                                                                                 |                               |

### 3.2.2 GZT und GZG / *ULS and SLS*

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

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

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

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

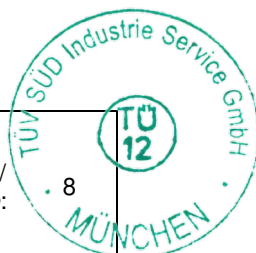
| LF / LC          | GZT / ULS | D.3     |
|------------------|-----------|---------|
| $V_{Ed}$ [kN]    | 22 630    | 17 292  |
| $H_{Ed}$ [kN]    | 1 897     | 812     |
| $M_{b,Ed}$ [kNm] | 221 383   | 107 585 |
| $M_{t,Ed}$ [kNm] | 1 353     | 3 064   |
| $\gamma_E$       | 1,35      | 1,00    |

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 /<br>Component: | Typenpfahlgründung / Type pile foundation | Seite/<br>Page: 8 |
| Block /<br>Chapter:     | 3 Belastung / Loading                     |                   |



|                                                                                                                                                                                                                     |                |                                   |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="text-align: center;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                      | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

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

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

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

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

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

### Drehfedersteifigkeit und Wegfedersteifigkeit / *Rotation and translational spring stiffness*

Mindestwert / *Minimal value*

|                                                           |                         |   |        |         |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|---|--------|---------|
| Statische Drehfeder / <i>Static rotational spring</i>     | $k_{\phi, \text{stat}}$ | = | 50000  | MNm/rad |
| Dynamische Drehfeder / <i>Dynamic rotational spring</i>   | $k_{\phi, \text{dyn}}$  | = | 310000 | MNm/rad |
| Dynamische Wegfeder / <i>Dynamic translational spring</i> | $k_f, \text{dyn}$       | = | 250    | MN/m    |

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

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

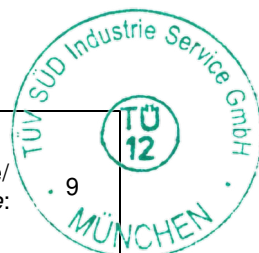
$$\Delta s_{\text{max}} = 3 \text{ mm/m}$$

### Baugrundaufbau / *Subsoil structure*

| Tiefe ab Fundamentunterkante /<br><i>Depth starting at foundation bottom edge</i> | Var. A - D           |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                                                                                   | 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 /<br><i>Component:</i> | Typenpfahlgründung / <i>Type pile foundation</i>           |
| Block /<br><i>Chapter:</i>     | 4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i> |

Seite/  
Page: 9



|                                                                                                                                                                          |                |                                   |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author:  <b>MAX BÖGL</b><br><small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                           | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses

### 5.1 Allgemeines / General remarks

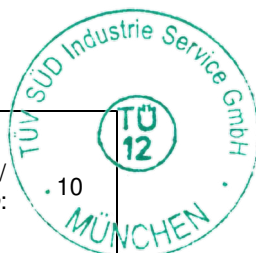
Der Baugrund muss die nachfolgend angegebenen Pfahlkräfte sicher abtragen können. Für den jeweiligen Standort ist durch den Bodengutachter die äußere Tragfähigkeit nachzuweisen und die Pfahlabsetztiefe festzulegen.

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

#### Erläuterung zu den nachfolgenden Tabellen / Explanation for the following tables

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

|                                                                                |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation              | Seite/<br>Page: 10 |
| Block /<br>Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses |                    |



|                                                                                                                                                                                                                     |                |                                   |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="text-align: center;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                      | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

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

### Pfahlkräfte Variante A / Pile loads variant A

#### Pfahldaten / Pile data

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

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gk}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ without buoyancy | $F_{Gk}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ with buoyancy | $F_{Qk}$ | $\Sigma F_k$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]         |
| Druck / Compression    | 1,00 / 1,00 | -775                                                 | -                                                | -741     | -1516        |
| Zug / Tension          | 1,00 / 1,00 | -                                                    | -751                                             | 731      | -20          |

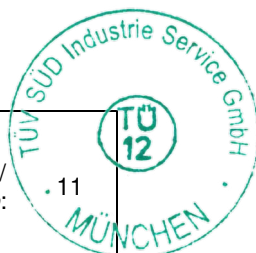
Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / Loads do not include partial safety factors

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gd}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ without buoyancy | $F_{Gd}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ with buoyancy | $F_{Qd}$ | $\Sigma F_d$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]         |
| Druck / Compression    | 1,35 / 0,90 | -1060                                                | -                                                | -902     | -1962        |
| Zug / Tension          | 1,35 / 0,90 | -                                                    | -725                                             | 887      | 162          |

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,35$ ) / Loads include partial safety factors ( $\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,35$ )

|                                                                                |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation              | Seite/<br>Page: 11 |
| Block /<br>Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses |                    |



|                                                                                                                                                                                                                                                                    |                |                                   |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                                                                     | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

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

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

##### Pfahldaten / Pile data

|                                                                      |       |   |        |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---|--------|
| Querschnitt Durchmesser / Cross section diameter                     | $d_p$ | = | 51 cm  |
| Anzahl / Quantity                                                    | $n_p$ | = | 46     |
| Pfahllänge gemäß Statik / Pile length according to structural report | $l_p$ | = | 20,0 m |
| Anzahl Neigung nach außen / Quantity outward inclination             | 4,0:1 | = | 23     |
| Anzahl Neigung nach innen / Quantity inward inclination              | 8,0:1 | = | 23     |

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gk}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ without buoyancy | $F_{Gk}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ with buoyancy | $F_{Qk}$ | $\sum F_k$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]       |
| Druck / Compression    | 1,00 / 1,00 | -906                                                 | -                                                | -869     | -1775      |
| Zug / Tension          | 1,00 / 1,00 | -                                                    | -879                                             | 857      | -22        |

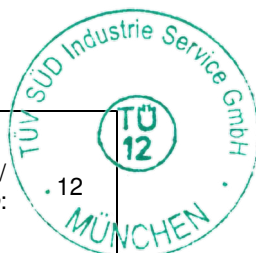
Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / Loads do not include partial safety factors

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gd}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ without buoyancy | $F_{Gd}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ with buoyancy | $F_{Qd}$ | $\sum F_d$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]       |
| Druck / Compression    | 1,35 / 0,90 | -1240                                                | -                                                | -1056    | -2296      |
| Zug / Tension          | 1,35 / 0,90 | -                                                    | -848                                             | 1040     | 192        |

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,35$ ) / Loads include partial safety factors ( $\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,35$ )

|                                                                                |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation              | Seite/<br>Page: 12 |
| Block /<br>Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses |                    |



|                                                                                                                                                                                                                     |                |                                   |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="text-align: center;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                      | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## 5.4 Variante C: Ortbetonrammpfähle / Variant C: Rammed in-situ concrete piles

### Pfahlkräfte Variante C / Pile loads variant C

#### Pfahldaten / Pile data

|                                                                      |       |   |        |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---|--------|
| Querschnitt Durchmesser / Cross section diameter                     | $d_p$ | = | 56 cm  |
| Anzahl / Quantity                                                    | $n_p$ | = | 40     |
| Pfahllänge gemäß Statik / Pile length according to structural report | $l_p$ | = | 20,0 m |
| Anzahl Neigung nach außen / Quantity outward inclination             | 4,0:1 | = | 20     |
| Anzahl Neigung nach innen / Quantity inward inclination              | 8,0:1 | = | 20     |

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gk}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ without buoyancy | $F_{Gk}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ with buoyancy | $F_{Qk}$ | $\sum F_k$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]       |
| Druck / Compression    | 1,00 / 1,00 | -1040                                                | -                                                | -995     | -2035      |
| Zug / Tension          | 1,00 / 1,00 | -                                                    | -1008                                            | 981      | -27        |

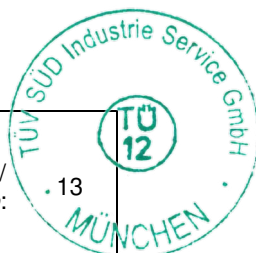
Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / Loads do not include partial safety factors

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gd}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ without buoyancy | $F_{Gd}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ with buoyancy | $F_{Qd}$ | $\sum F_d$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]       |
| Druck / Compression    | 1,35 / 0,90 | -1424                                                | -                                                | -1209    | -2633      |
| Zug / Tension          | 1,35 / 0,90 | -                                                    | -974                                             | 1191     | 217        |

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,35$ ) / Loads include partial safety factors ( $\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,35$ )

|                                                                                |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation              | Seite/<br>Page: 13 |
| Block /<br>Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses |                    |



|                                                                                                                                                                                                                                                                    |                |                                   |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |                |                                   | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3                                                                                                                                                                                                                                     | NH / HH: 160 m | Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22 | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## 5.5 Variante D: Bohrpfähle / Variant D: Bored piles

### Pfahlkräfte Variante D / Pile loads variant D

#### 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/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gk}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ without buoyancy | $F_{Gk}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gk}$ with buoyancy | $F_{Qk}$ | $\Sigma F_k$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]         |
| Druck / Compression    | 1,00 / 1,00 | -1854                                                | -                                                | -1741    | -3595        |
| Zug / Tension          | 1,00 / 1,00 | -                                                    | -1794                                            | 1715     | -79          |

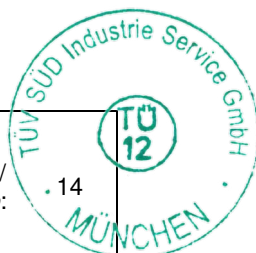
Alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte / Loads do not include partial safety factors

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

| Lastfall/<br>Load case | $\gamma_F$  | $F_{Gd}$ ohne Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ without buoyancy | $F_{Gd}$ mit Auftrieb/<br>$F_{Gd}$ with buoyancy | $F_{Qd}$ | $\Sigma F_d$ |
|------------------------|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|--------------|
| [-]                    | [-]         | [kN]                                                 | [kN]                                             | [kN]     | [kN]         |
| Druck / Compression    | 1,35 / 0,90 | -2536                                                | -                                                | -2090    | -4626        |
| Zug / Tension          | 1,35 / 0,90 | -                                                    | -1790                                            | 2055     | 265          |

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma_{\text{Auftrieb}}=1,35$ ) / Loads include partial safety factors ( $\gamma_{\text{Buoyancy}}=1,35$ )

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



|                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------|
| Verfasser /<br>Author: <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;">  <b>MAX BÖGL</b><br/> <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small> </div> |  |  | Proj.-Nr. / No.:<br>21683-E22 |
| WEA / WT: Enercon E-138 EP3 E3    NH / HH: 160 m    Hybridturm / Hybrid tower: DE-E22                                                                                                                                                                              |  |  | Datum / Date:<br>28.10.2022   |

## 5.6 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.

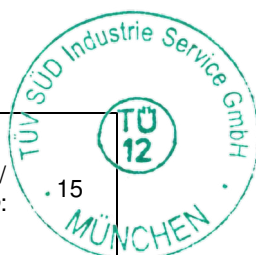
Für den Nachweis der inneren Tragfähigkeit im Zuge der Ausführungsplanung sind die Schnittgrößen unter Ansatz der standort-spezifischen Bodensteifigkeiten an einem FE-Modell zu ermitteln.

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   | Var. D  |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|---------|
| Horizontalkraft (Pfahloberkante) /<br><i>Horizontal force (pile top)</i>    | H <sub>d</sub> | 38 kN    | 43 kN    | 50kN     | 143 kN  |
| Einspannmoment in der Platte /<br><i>Fixed-end moment in plate</i>          | M <sub>d</sub> | 118 kNm* | 127 kNm* | 160 kNm* | 768 kNm |
| Max. Moment in Pfahlmitte /<br><i>Max. moment in centre of pile</i>         | M <sub>d</sub> | 77 kNm*  | 89 kNm*  | 109 kNm* | 441 kNm |
| *in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung / *depending on soil stiffness |                |          |          |          |         |

|                                                                                |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Bauteil /<br>Component: Typenpfahlgründung / Type pile foundation              | Seite/<br>Page: 15 |
| Block /<br>Chapter: 5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses |                    |



# Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
**ENERCON E-138 EP3 E3**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8119224863 D Rev. 0

**Anlagenspezifikation:**

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| Bezeichnung:       | ENERCON E-138 EP3 E3 |
| Rotorblatt:        | E-138 EP3-RB-02      |
| Max. Nennleistung: | 4.26 MW              |
| Nabenhöhen:        | 160 m                |

**Standortspezifikation:**

|                   |       |
|-------------------|-------|
| Windzonen:        | 2     |
| Geländekategorie: | GK II |

**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        | 21.12.2022 | Erstausgabe | K. Götz         |

## Inhaltsverzeichnis

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

## **1 Dokumente**

### **1.1 Lastannahmen**

- [1.1.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II –  
Lastannahmen für Turm und Fundament -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-1 D IV  
Rev. 0, Datum: 19.12.2022
- [1.1.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, Diverse NH, DIBt Diverse WZ, Diverse GK - Lastannahmen für  
Rotorblatt und Maschinenbau -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-1 D III  
Rev. 2, Datum: 19.12.2022

### **1.2 Sicherheitssystem und Handbücher**

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 E3  
Plattform nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)  
- Sicherheitssystem und Handbücher -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-2 D  
Rev. 1, vom 09.12.2022

### **1.3 Elektrische Komponenten und Blitzschutz**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E3  
- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-5 D  
Rev. 1, Datum: 28.09.2022

### **1.4 Rotorblatt**

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 und E-138 EP3 E3 unterschiedliche Konfigurationen und  
Nabenhöhen - Rotorblatt E-138 EP3-RB-02-  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8117 142 915-3 D  
Rev. 7, Datum 20.12.2022

## **1.5 Maschinenbauliche Komponenten**

- [1.5.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen  
ENERCON E-138 EP3 E3 - Maschinenbauliche Komponenten -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-4 D  
Rev. 1, Datum: 20.12.2022

## **1.6 Verkleidungen und Strukturen**

- [1.6.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-138 EP3 E3 und E-115 EP3 E4 - Verkleidungen & Strukturen -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-12 D  
Rev. 1, Datum: 20.12.2022

## **1.7 Turmkopfflansch**

- [1.7.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3,  
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, verschiedene Konfigurationen, WZ S, GK S -  
Turmkopfflanschbaugruppe -  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119 224 863-11 D  
Rev. 0, Datum: 07.02.2022

## **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

## **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.

## 5 Zusammenfassung

Die Gutachtlichen Stellungnahmen unter Kapitel 1 wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen der Prüfgrundlagen unter Kapitel 2 für die Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 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. Federica Messer".

Dr. rer. nat. Federica Messer

## Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02,  
NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01),  
DIBt WZ 2, GK II**

### **- Lastannahmen für Turm und Fundament -**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8119224863-1 D IV Rev.0

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Nabenhöhe 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01) bezüglich der DIBt (2012) Windzone 2, Geländekategorie II

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen                                 | Sachverständiger  |
|----------|------------|--------------------------------------------|-------------------|
| 0        | 19.12.2022 | Erste Fassung<br>Angebotsnummer: 2020-0297 | Konstantin Konkel |

## Inhaltsverzeichnis

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

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Turm  
"Lastenbericht Turm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 Abdeckende Betriebs-  
und Extremlasten für den Turm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 der WEA E-  
138 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D02431956  
Rev. 0.2, Datum: 10.11.2022
- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastdokumente zur Überdrehzahl (elektronisch erhalten)  
Dateiname.: E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_overspeed\_DLC2.1.zip  
(MD5-Prüfsumme: 01ca310f79bf0692c33980fc79353204)
- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
Lastvergleich zur FMEA  
"Berechnung\_Load\_Comparison\_E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_FMEA"  
Dokument-Nr.: D02799284\_0.1  
Rev. 0.1, Datum: 15.12.2022

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Design Base, E-138 EP3 E3"  
Dokument-Nr: D02294156  
Rev. 3.2, Datum: 21.01.2022

#### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Zeitreihen, Windfelder, Controller (elektronisch erhalten)  
Dateiname: E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01.zip  
(MD5-Prüfsumme: ec7670f18feb7c9822797e4839f06770)  
Dateiname: E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_\_DLC\_1.2c.zip  
(MD5-Prüfsumme: 4eea9e26a4c3154fce4a3b959d4c4fd1)  
Eingangsdatum: 24.08.2022  
E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_FMEA.zip  
(MD5-Prüfsumme: 3ad91c92c67a573f31e2871258e78180)  
Eingangsdatum: 16.12.2022

- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme zur Überdrehzahl  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Überdrehzahl DLC 2.1"  
Dokument-Nr.: D02578345  
Rev. 1.0, Datum: 22.02.2022
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Betriebsführungs- und Sicherheitssystem  
"Reglerbeschreibung, E-138 EP3 E3"  
Dokument-Nr.: D02398709  
Rev. 1.0, Datum: 23.09.2022
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Bladed Projektdatei  
Dateiname: powprod.\$PJ (1.1\_s20102) and powprod.\$PJ (1.1\_w20102)  
(MD5-Prüfsumme: 6ad77a05103a0f6a0fc1f5c97e3fdbb5 and  
b74eeaa9b58a4c22fc6078301054acaa)

## **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-138 EP3 E3, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand von DIBt (2012) [2.1] - [2.2] in Kombination mit IEC 61400-1 Ed. 4 [2.3] durchgeführt.

Für Abweichungen von den Prüfgrundlagen siehe Anmerkungen 5.2.2.

Die Prüfung der Lastberechnung umfasst die Prüfung der Lastfall- und Modelldefinition, eine unabhängige Analyse der Lasten sowie den Vergleich der eingereichten und parallel berechneten Lasten.

Zusätzlich zu der durch die unabhängige Analyse der Lasten betrachteten Anlagenkonfiguration deckt diese Gutachtliche Stellungnahme auch folgende Änderungen an der WEA gegenüber dem Berechnungsmodell ab:

- Geringere Leistung.
- Geringere Solldrehzahl bei geringerem oder gleichem Drehmoment, wenn die aus der Solldrehzahl berechnete Blattdurchgangsfrequenz oberhalb der 1. Turmeigenfrequenz liegt und keine Resonanzbereiche stimuliert werden.
- Änderungen an Turm- und Gondelmassen, Änderungen der Turmkonstruktion (z.B. Variation der Wanddicken, Bodendrehfeder, horizontale Wegfeder, E-Modul) sowie Abweichungen der Turmhöhe, sofern sämtliche folgende Bedingungen eingehalten werden:
  - Abweichung der Anlagenmasse um bis zu  $\pm 5$  %.
  - Abweichung der Turmhöhe um bis zu  $\pm 5$  %.
  - Die erste Turmeigenfrequenz im Ausgangszustand und die erste Turmeigenfrequenz im modifizierten Zustand liegen oberhalb 105 % der 1P Anregung bei Solldrehzahl.
  - Alle weiteren Turmeigenfrequenzen im Ausgangszustand und im modifizierten Zustand liegen außerhalb des Intervalls [90 % - 105 %] der 3P Anregung der Solldrehzahl.
  - Abweichung der 1. Turmeigenfrequenz sind unter folgenden Bedingungen zulässig:
    - Die erste Turmeigenfrequenz „Weich“<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 %

---

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

- 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 Umgebungsbedingungen

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

|                                                                               | DIBt WZ 2 GK II | IEC IIIA   |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|
| Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$                                  | 7.71 m/s        | 7.50 m/s   |
| Formparameter der Weibull-Funktion $k$                                        | 2               |            |
| Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$<br>(10 Minuten Mittelwert)         | 31.17 m/s       | 30.00 m/s  |
| Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$<br>(10 Minuten Mittelwert)     | 38.96 m/s       | 37.50 m/s  |
| Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität<br>bei 15 m/s $I_{ref}$ | 16 %            |            |
| Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen<br>Turbulenzmodells (ETM)   | 2 m/s           |            |
| Höhenexponent $\alpha$ (für EWM)                                              | 0.2 (0.16)      | 0.2 (0.11) |
| Zusätzlicher Höhenexponent $\alpha$ für DLC 1.1, 1.3 und 1.5                  | 0.05            |            |
| Upflow                                                                        | 8°              |            |

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe 160 m

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität pro Windgeschwindigkeit angenommen, siehe [1.2.1].

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 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

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

|                                                                            |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Umweltbedingungen                                                          | normales Klima                                   |
| Temperaturbereich im Produktionsbetrieb                                    | -10 °C bis +40 °C                                |
| Extremer Temperaturbereich                                                 | -20 °C bis +50 °C                                |
| Netzausfälle                                                               | 20 Ausfälle/Jahr                                 |
| Betrieb mit vereisten Blättern                                             | nicht berücksichtigt                             |
| Annahmen zur Netzstützung bei Spannungseinbruch: Spannungsabfall und Dauer | nicht berücksichtigt, siehe Schnittstelle 5.4.10 |
| Auslegungslebensdauer                                                      | 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 des Anlagenmodells

Bei der WEA E-138 EP3 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                  | 4260 kW                                     |
| Turmtyp                                   | E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 (Stahlrohrturm) |
| Turmhöhe (inkl. 2.4 m Fundamenthöhe)      | 158.024 m                                   |
| Nabenhöhe                                 | 160 m                                       |
| Rotorblatt                                | E-138 EP3-RB-02                             |
| Rotorblattlänge (entlang der Pitch-Achse) | 69.295 m                                    |
| Rotorblattmasse (inkl. Bolzen)            | 20213 kg                                    |

|                                                                             |                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Massenmoment des Rotorblatts<br>(gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen) | 387935 kgm                                                                       |
| Blattanbauteile                                                             | Gurney Flaps (GF)<br>Vortex-Generatoren (VG)<br>Serrations (TES)<br>Blattspitzen |
| Nominaler Rotordurchmesser                                                  | 138.59 m                                                                         |
| Rotordurchmesser (inkl. Konuswinkel)                                        | 138.458 m                                                                        |
| Rotordurchmesser (inkl. Konuswinkel und pre-bend)                           | 138.25 m                                                                         |
| Rotorachsneigung                                                            | 7.0°                                                                             |
| Rotor-Konuswinkel                                                           | 2.5° upwind                                                                      |
| Rotoreinschalt Drehzahl $n_1$                                               | 4.4 U/min                                                                        |
| Rotorenndrehzahl $n_r$                                                      | 10.8 U/min                                                                       |
| Rotorsolldrehzahl $n_s^2$                                                   | 11.1 U/min                                                                       |
| Getriebeübersetzung                                                         | direktgetrieben                                                                  |
| Netzfrequenz                                                                | irrelevant                                                                       |
| Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$      | 2.5 - 28.0 m/s                                                                   |
| Nennwindgeschwindigkeit $v_r$                                               | 12.1 m/s                                                                         |
| Reglerfunktionen                                                            | Sturmregelung<br>Eiserkennungssystem                                             |
| Identifikationsnummer: Anlage / Lastrechnung                                | E-138_EP3_E3-HT-160-ES-C-01                                                      |

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabhöhe

|                        | Dateiname                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotorblattstruktur     | Siehe [1.2.5]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Aerodynamische Profile | Siehe [1.2.5]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Turmstruktur           | Siehe [1.2.5]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Controller             | E-138_EP3_E3.Daten<br>MD5-Prüfsumme: 8169b837a20dd271faaee1c015dcce76<br><br>Regler.dll<br>MD5-Prüfsumme: bdc89956603e500a36ebb18f7714cb90<br><br>E-138_EP3_E3_n4.Daten (nur für DLC 2.1 mit Überdrehzahl)<br>MD5-Prüfsumme: cb96b5cbcd3fe4e630fa8cb7717153b9<br><br>Regler.dll (nur für DLC 2.1 mit Überdrehzahl)<br>MD5-Prüfsumme: 20e039b0fb118851fb91f8d31530608a |

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

<sup>3</sup> Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

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 4.7 angegebenen Werte angenommen.

|                                                          |                  |
|----------------------------------------------------------|------------------|
| Massenexzentrizität des Rotors                           | 1000 kgm         |
| Fehler des Blattstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3) | 0°; +0.3°; -0.3° |

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Zur adäquaten Berücksichtigung der elastischen Einspannung des Turmfußes am Aufstellort wird eine repräsentative Bodenfederung entsprechend der in Tabelle 4.8 angegebenen Werte angenommen.

|                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Translationsfeder: $k_{x,dyn}$        | starr          |
| Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$ | 250000 MNm/rad |

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

| Komponente              |       | Randbedingungen                              | Frequenz |
|-------------------------|-------|----------------------------------------------|----------|
| Blatt, Biegung flapwise | 1. EF | fest eingespannt - frei                      | 0.515 Hz |
| Blatt, Biegung flapwise | 2. EF | fest eingespannt - frei                      | 1.233 Hz |
| Blatt, Biegung edgewise | 1. EF | fest eingespannt - frei                      | 0.824 Hz |
| Blatt, Biegung edgewise | 2. EF | fest eingespannt - frei                      | 2.530 Hz |
| Turm, Biegung fore-aft  | 1. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | 0.202 Hz |
| Turm, Biegung fore-aft  | 2. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | 0.856 Hz |
| Turm, Biegung side-side | 1. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | 0.201 Hz |
| Turm, Biegung side-side | 2. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | 0.834 Hz |
| Turm, Biegung fore-aft  | 1. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | 0.212 Hz |
| Turm, Biegung fore-aft  | 2. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | 0.976 Hz |
| Turm, Biegung side-side | 1. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | 0.211 Hz |
| Turm, Biegung side-side | 2. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | 0.943 Hz |

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E3, E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-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 unter Berücksichtigung des Betriebs- und Sicherheitssystems [1.2.4] und der Design Basis [1.2.1] und [1.2.3] auf Vollständigkeit sowie auf Konformität mit den Richtlinien [2.1] - [2.3] überprüft.

Darauf basierend wurde unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 aufgelisteten und unter Kapitel 1 dokumentierten Parameter ein unabhängiges Simulationsmodell aufgebaut sowie eine unabhängige Analyse der Lasten durchgeführt. Die Übereinstimmung des Anlagenverhaltens während der Simulation mit dem in [1.1.1] 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. 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. Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] genannten technischen Anforderungen IEC 61400-1 Ed. 2 oder 3, wurde hier IEC 61400-1 Ed. 4 [2.3] verwendet.

### **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 zu entnehmen.

- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoodinaten-systemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastbe-rechnung 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 Mas-senexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2. Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. In Übereinstimmung mit der Design Basis [1.2.1] wurde diese Lastrechnung unter Berücksichtigung der Blattanbauteile in Tabelle 4.5 durchgeführt. Eine Berechnung ohne diese Anbauten ist nicht Teil dieses Berichtes.
- 5.4.10. Bei Verwendung der Lastannahmen 1.1 für eine modifizierte Turmhöhe, wie in Kapitel 3 beschrieben, müssen Turm- und Fundamentlasten extrapoliert werden.
- 5.4.11. Die Lastrechnung wurde unter der Annahme durchgeführt, dass die Anlage mit einem elektrischen Widerstand (Chopper) ausgestattet ist. Dieser muss bei der Prüfung elektrischen Komponenten berücksichtigt werden.
- 5.4.12. Die Lasten [1.1.1] - [1.1.2] dürfen für die Evaluierung der Komponenten nur in Kombination mit den aktualisierten Lasten [1.1.3] verwendet werden.

## **6 Auflagen**

- 6.1 Es sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Betrieb mit vereisten Rotorblättern auszuschließen.
- 6.2 Bei Abweichungen von mehr als  $\pm 5\%$  von der 1. Turmeigenfrequenz (siehe Tabelle 4.9 zum Abgleich ungekoppelter Eigenfrequenzen bzw. [1.1.1] zum Abgleich gekoppelter Eigenfrequenzen) des in der Lastberechnung verwen-deten Modells sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich.

## 7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] - [1.1.3] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3, E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01) sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur Richtlinie [2.1] berechnet worden.

Sachverständiger:

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

M.Sc. Konstantin Konkelt

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "i.A. J. Goetzke".

M.Sc. Marvin Goetzke

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-138 EP3 E3,  
RB E-138 EP3-RB-02, Diverse NH,  
DIBt Diverse WZ, Diverse GK**

### - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8119224863-1 D III Rev. 2

**Gegenstand der Prüfung:** Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, diverse Nabenhöhen bezüglich der DIBt (2012) diverse Windzonen, diverse Geländekategorien

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen                                                                                                                                                                    | Sachverständiger  |
|----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 0        | 03.02.2022 | Erste Fassung                                                                                                                                                                 | Tim Kaczynski     |
| 1        | 06.09.2022 | E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 hinzugefügt<br>Dokumentrevisionen angepasst                                                                                                      | Tim Kaczynski     |
| 2        | 19.12.2022 | E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 hinzugefügt.<br>[1.1.5] als geprüftes Dokument hinzugefügt<br>Schnittstelle 5.4.12 hinzugefügt, Auflage 6.3 entfernt<br>Angebotsnummer: 2020-0297 | Konstantin Konkel |

## Inhaltsverzeichnis

|     |                                          |    |
|-----|------------------------------------------|----|
| 1   | Dokumente .....                          | 3  |
| 1.1 | Geprüfte Dokumente .....                 | 3  |
| 1.2 | Dazugehörige Dokumente.....              | 3  |
| 2   | Prüfgrundlagen .....                     | 4  |
| 3   | Einleitung .....                         | 5  |
| 4   | Beschreibung der Windenergieanlage ..... | 7  |
| 4.1 | Umgebungsbedingungen .....               | 7  |
| 4.2 | Sicherheitsklasse .....                  | 8  |
| 4.3 | Beschreibung des Anlagenmodells .....    | 8  |
| 5   | Durchgeführte Prüfungen.....             | 11 |
| 5.1 | Prüfmethode.....                         | 11 |
| 5.2 | Anmerkungen.....                         | 11 |
| 5.3 | Prüfergebnis.....                        | 12 |
| 5.4 | Schnittstellen.....                      | 12 |
| 6   | Auflagen.....                            | 13 |
| 7   | Schlussfolgerung .....                   | 13 |

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Maschinenbau  
"Lastenbericht, Maschinenbau E-138 EP3 E3, Abdeckende Betriebs- und  
Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-138  
EP3-RB-02 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D02397614  
Rev. 0.3, Datum: 20.01.2022
- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Zertifizierungslastbericht Rotorblatt  
"Lastenbericht, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Abdeckende Lasten für das  
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 E3 nach DIBt  
und IEC"  
Dokument-Nr.: D02399482  
Rev. 0.5, Datum: 20.01.2022
- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
Lastfallbeschreibung für Einzelblattmontage und zugehörige Lasten  
Dokument-Name.: E-138 EP3 E3; single blade assembly.zip  
(MD5-Prüfsumme: 359347527e86ae49d230d28248d84cd9)  
Received: 25.01.2022
- [1.1.4] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme zur Überdrehzahl (E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01)  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Überdrehzahl DLC 2.1"  
Dokument-Nr.: D02578345  
Rev. 1.0, Datum: 22.02.2022
- [1.1.5] ENERCON GmbH:  
Lastvergleich zur FMEA  
"Berechnung\_Load\_Comparison\_E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_FMEA"  
Dokument-Nr.: D02799284\_0.1  
Rev. 0.1, Datum: 15.12.2022

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Design Basis  
"Design Base, E-138 EP3 E3"  
Dokument-Nr: D02294156  
Rev. 3.2, Datum: 21.01.2022

### Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Betriebsführungs- und Sicherheitssystem  
"Reglerbeschreibung, E-138 EP3 E3"  
Dokument-Nr.: D02398709  
Rev. 1.0, Datum: 23.09.2022
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Stellungnahme zu Rotordrehzahlen der E-138 EP3 E3  
"Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Drehzahlbereiche"  
Dokument-Nr.: D02467788  
Rev. 0.1, Datum: 01.08.2021
- [1.2.4] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01  
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, NH 130.639 m (E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -"  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119224863-1 D II  
Rev. 0, Datum: 03.02.2022
- [1.2.5] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01  
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, NH 110.396 m (E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01), DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Turm und Fundament -"  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119224863-1 D I  
Rev. 0, Datum: 06.09.2022
- [1.2.6] TÜV NORD:  
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01  
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, NH 160 m (E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01), DIBt WZ 2, GK II, - Lastannahmen für Turm und Fundament -"  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119224863-1 D IV  
Rev. 0, Datum: 19.12.2022

## **2 Prüfgrundlagen**

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

- [2.2] DIN EN 1991-1-4/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten: 2010-12
- [2.3] International Standard IEC 61400 1: "Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements", Edition 4.0, 2019-02

### **3 Einleitung**

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung der Windenergieanlage (WEA) E-138 EP3 E3, welche im folgenden Kapitel genauer beschrieben ist.

Mit Rev. 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde der E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 Turm hinzugefügt und Dokumentrevisionen angepasst.

Mit Rev. 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde der E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01 Turm, das geprüfte Dokument [1.1.5] sowie die Schnittstelle 5.4.12 hinzugefügt und die Auflage 6.3 entfernt.

Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.5] beinhalten hierbei die Lasten verschiedener Nabenhöhen. Eine genaue Beschreibung der WEA inkl. Turm und Fundament ist den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.4] - [1.2.6] zu entnehmen.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand von DIBt (2012) [2.1] - [2.2] in Kombination mit IEC 61400-1 Ed. 4 [2.3] durchgeführt.

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 [1.1.1] - [1.1.5] - werden lediglich für die Nabenhöhen referenziert in [1.2.4] - [1.2.6] bestätigt.

Die geprüften Unterlagen in [1.1.3] beinhalten die Lastfallbeschreibung sowie die zugehörigen Lasten für die Einzelblattmontage. Die Lasten wurden exemplarisch an der Konfiguration [1.2.4] geprüft.

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  $\pm 3$  %.

---

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

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Umgebungsbedingungen

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

|                                                                               | DIBt diverse WZ<br>diverse GK | IEC 61400-1 Ed. 4 |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $V_{ave}$                                  | siehe [1.2.4] - [1.2.6]       |                   |
| Formparameter der Weibull-Funktion $k$                                        | 2                             |                   |
| Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_1$<br>(10 Minuten Mittelwert)         | siehe [1.2.4] - [1.2.6]       |                   |
| Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $V_{50}$<br>(10 Minuten Mittelwert)     | siehe [1.2.4] - [1.2.6]       |                   |
| Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität<br>bei 15 m/s $I_{ref}$ | 0.16                          |                   |
| Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen<br>Turbulenzmodells (ETM)   | 2 m/s                         |                   |
| Höhenexponent $\alpha$ (für EWM)                                              | siehe [1.2.4] - [1.2.6]       |                   |
| Zusätzlicher Höhenexponent $\alpha$ für DLC 1.1, 1.3 und 1.5                  | 0.05                          |                   |
| Upflow                                                                        | 8°                            |                   |

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe

In der Lastberechnung wurde eine Weibullverteilung der Turbulenzintensität pro Windgeschwindigkeit angenommen, siehe [1.2.1].

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 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

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

| Umweltbedingungen                       | Normales Klima                                         |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Temperaturbereich im Produktionsbetrieb | -10 °C bis +40 °C                                      |
| Extremer Temperaturbereich              | -20 °C bis +50 °C                                      |
| Netzausfälle                            | 20 Ausfälle/Jahr                                       |
| Betrieb mit vereisten Blättern          | Nicht berücksichtigt                                   |
| Low Voltage Ride Through (LVRT)         | Berücksichtigt durch Chopper für Events bis 2 Sekunden |
| Auslegungslbensdauer                    | 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 des Anlagenmodells

Bei der WEA E-138 EP3 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                                                    | 4260 kW                                                                          |
| Turmtyp                                                                     | siehe [1.2.4] - [1.2.6]                                                          |
| Turmhöhe                                                                    | siehe [1.2.4] - [1.2.6]                                                          |
| Nabenhöhe                                                                   | siehe [1.2.4] - [1.2.6]                                                          |
| Rotorblatt                                                                  | E-138 EP3-RB-02                                                                  |
| Rotorblattlänge (entlang der Pitch-Achse)                                   | 69.295 m                                                                         |
| Rotorblattmasse (inkl. Bolzen)                                              | 20213 kg                                                                         |
| Massenmoment des Rotorblatts<br>(gemessen vom Blattanschluss, inkl. Bolzen) | 387935 kgm                                                                       |
| Blattanbauteile                                                             | Gurney Flaps (GF)<br>Vortex-Generatoren (VG)<br>Serrations (TES)<br>Blattspitzen |
| Nominaler Rotordurchmesser                                                  | 138.59 m                                                                         |
| Rotordurchmesser (inkl. Konuswinkel)                                        | 138.458 m                                                                        |
| Rotordurchmesser (inkl. Konuswinkel und pre-bend)                           | 138.25 m                                                                         |
| Rotorachsneigung                                                            | 7.0°                                                                             |
| Rotor-Konuswinkel                                                           | 2.5° upwind                                                                      |
| Rotornenndrehzahl $n_r$                                                     | 10.8 U/min                                                                       |
| Rotorsolldrehzahl $n_s^2$                                                   | 11.1 U/min                                                                       |
| Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$                             | 4.4 - 12.71 U/min                                                                |
| Getriebeübersetzung                                                         | direktgetrieben                                                                  |
| Netzfrequenz                                                                | irrelevant                                                                       |
| Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$      | 2.5 - 28.0 m/s                                                                   |
| Nennwindgeschwindigkeit $v_r$                                               | 12.1 m/s                                                                         |

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-138 EP3 E3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabenhöhe

|                        | Dateiname                                                                           |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotorblattstruktur     | E-138_EP3_E3-HST-131-FB-C-01.zip<br>MD5-Prüfsumme: fa4eaa8e8fa60c0137a31de36bb01b2b |
| Aerodynamische Profile | E-138_EP3_E3-HST-131-FB-C-01.zip<br>MD5-Prüfsumme: fa4eaa8e8fa60c0137a31de36bb01b2b |
| Turmstruktur           | siehe [1.2.4] - [1.2.6]                                                             |
| Controller             | siehe [1.2.4] - [1.2.6]                                                             |

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

<sup>2</sup> Drehzahl auf die im Vollastbetrieb geregelt wird<sup>3</sup> Beginn der Sturmregelung bei 22 m/s

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 4.7 angegebenen Werte angenommen.

|                                                            |                   |
|------------------------------------------------------------|-------------------|
| Massenexzentrizität des Rotors                             | 1000 kgm          |
| Fehler des Blattanstellwinkels (Blatt 1; Blatt 2; Blatt 3) | 0°; +0.3°; -0.3°; |

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Zur adäquaten Berücksichtigung der elastischen Einspannung des Turmfußes am Aufstellort wird eine repräsentative Bodenfederung entsprechend der in Tabelle 4.8 angegebenen Werte angenommen.

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Translationsfeder: $k_{x,dyn}$        | starr                   |
| Horizontale Drehfeder: $k_{\phi,dyn}$ | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

Die aus den oben genannten Angaben und Annahmen resultierenden, berechneten Bauteileigenfrequenzen sind in Tabelle 4.9 angegeben. Diese Eigenfrequenzen stellen die ungekoppelten Bauteilfrequenzen dar. Sie beziehen sich jeweils auf das isolierte Bauteil, das heißt, es findet bei der Berechnung der ungekoppelten Bauteileigenfrequenzen keine Interaktion mit weiteren im System befindlichen, schwingungsfähigen Komponenten statt. Die angegebenen Eigenfrequenzen des Turmes berücksichtigen eine elastische (Tabelle 4.8) und eine starre Bodenfeder sowie die Masse des Turmkopfes.

| Komponente              |       | Randbedingungen                              | Frequenz                |
|-------------------------|-------|----------------------------------------------|-------------------------|
| Blatt, Biegung flapwise | 1. EF | fest eingespannt - frei                      | 0.515 Hz                |
| Blatt, Biegung flapwise | 2. EF | fest eingespannt - frei                      | 1.233 Hz                |
| Blatt, Biegung edgewise | 1. EF | fest eingespannt - frei                      | 0.824 Hz                |
| Blatt, Biegung edgewise | 2. EF | fest eingespannt - frei                      | 2.530 Hz                |
| Turm, Biegung fore-aft  | 1. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung fore-aft  | 2. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung side-side | 1. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung side-side | 2. EF | flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse         | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung fore-aft  | 1. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung fore-aft  | 2. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung side-side | 1. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |
| Turm, Biegung side-side | 2. EF | fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse | siehe [1.2.4] - [1.2.6] |

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-138 EP3 E3, E-138 EP3-RB-02, diverse NH

Die gekoppelten Eigenfrequenzen sind grafisch im Campbell-Diagramm der geprüften Unterlagen von [1.2.4] - [1.2.6] 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.

In [1.2.4] - [1.2.6] wurde die Definition der Designlastfälle unter Berücksichtigung des Betriebs- und Sicherheitssystems [1.2.2] und der Design Basis [1.2.1] auf Vollständigkeit sowie auf Konformität mit den Richtlinien [2.1] - [2.3] überprüft.

Darauf basierend wurde unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 aufgelisteten und unter Kapitel 1 dokumentierten Parameter ein unabhängiges Simulationsmodell aufgebaut sowie eine unabhängige Analyse der Lasten durchgeführt. Die Übereinstimmung des Anlagenverhaltens während der Simulation mit dem in [1.1.1] - [1.1.2] dokumentierten Regelungskonzept der Anlage wurde überprüft.

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

Die Definition für den Auslegungslastfall der Einzelblattmontage wurde in [1.2.4] auf Vollständigkeit und Konformität mit der Richtlinie [2.3] geprüft.

### **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. Abweichend von den in der DIBt (2012) [2.1] genannten technischen Anforderungen IEC 61400-1 Ed. 2 oder 3, wurde hier IEC 61400-1 Ed. 4 [2.3] verwendet.
- 5.2.3. Es wurde kein Lastfall für LVRT gemäß [2.3] berücksichtigt, weil die Anlage mit einem elektrischen Widerstand (Chopper) ausgelegt worden ist.

- 5.2.4. Die Ergebnisse für Rotorblatt und Maschinenbau - referenziert in [1.1.1] - [1.1.5] - werden lediglich für die Nabenhöhen referenziert in [1.2.4] - [1.2.6] bestätigt.
- 5.2.5. Die Auslegungslasten des Azimutantriebs in [1.1.1] wurden auf Plausibilität geprüft.

### **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; davon ausgenommen sind die Auslegungslasten des Azimutantriebs in [1.1.1], welche nur auf Plausibilität geprüft wurden.

Das geprüfte Dokument [1.1.3] beinhaltet die Lastfallbeschreibung sowie die zugehörigen Lasten für die Einzelblattmontage. Diese Lasten wurden exemplarisch an der Konfiguration [1.2.4] geprüft.

### **5.4 Schnittstellen**

- 5.4.1. Relevante Parameter und Schnittstellenwerte, die über die in Kapitel 4 aufgeführten hinausgehen, sind den Dokumenten 1.1 - 1.2 zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] beschriebenen Berechnungskoordinatensystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der Lastberechnung berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.3]. Dies erfolgte bereits mit [1.2.4] - [1.2.6].
- 5.4.7. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lasten am Turm beinhalten die Einflüsse aus den vorhandenen Massenexzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2. Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.9. In Übereinstimmung mit der Design Basis [1.2.1] wurde diese Lastrechnung unter Berücksichtigung der Blattanbauteile in Tabelle 4.5 durchgeführt. Eine Berechnung ohne diese Anbauten ist nicht Teil dieses Berichtes.

- 5.4.10. Bei Verwendung der Lastannahmen 1.1 für eine modifizierte Turmhöhe, wie in Kapitel 3 beschrieben, müssen Turm- und Fundamentlasten extrapoliert werden.
- 5.4.11. Die Lastrechnung wurde unter der Annahme durchgeführt, dass die Anlage mit einem elektrischen Widerstand (Chopper) ausgestattet ist, der mindestens 2 s bei Nennleistung kompensieren kann (8.52 MJ).
- 5.4.12. Die Lasten [1.1.1] - [1.1.4] dürfen für die Evaluierung der Komponenten nur in Kombination mit den aktualisierten Lasten [1.1.5] verwendet werden.

## 6 Auflagen

- 6.1 Es sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Betrieb mit vereisten Rotorblättern auszuschließen.
- 6.2 Bei Abweichungen von mehr als  $\pm 5\%$  von der 1. Turmeigenfrequenz (siehe Tabelle 4.9 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.
- 6.3 Die Anlage ist mit einem elektrischen Widerstand (Chopper) auszustatten, der mindestens eine Kapazität von 8.52 MJ aufweist.

## 7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] - [1.1.5] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3, E-138 EP3-RB-02, diverse NH sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zur Richtlinie [2.1] berechnet worden.

Sachverständiger:



M.Sc. Konstantin Konkelt

Freigegeben:



M.Sc. Marvin Goetzke

## Gutachtliche Stellungnahme

### Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 E3 Plattform nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

#### - Sicherheitssystem und Handbücher -

|                              |                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TÜV NORD Bericht-Nr.:</b> | 8119224863-2 D Rev.1                                                                                                                                                                              |
| <b>Prüfgegenstand:</b>       | Konzeptprüfung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher für die Windenergieanlagen der ENERCON E-138 EP3 E3 Plattform nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012) |
| <b>Anlagenhersteller:</b>    | ENERCON GmbH<br>Dreekamp 5<br>26605 Aurich<br>Deutschland                                                                                                                                         |
| <b>Dokumentation:</b>        | ENERCON GmbH<br>Dreekamp 5<br>26605 Aurich<br>Deutschland                                                                                                                                         |

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 14 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen                                                                                                                        | Sachverständiger |
|----------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 0        | 22.09.2022 | Erstausgabe<br>Angebot 2020-0297                                                                                                  | Gunnar Ewald     |
| 1        | 09.12.2022 | Revision von Unterlagen, Ergänzung des HT-160-ES-C-01 Hybridturms, Offener Punkt 7.1 bzgl. FMEA beseitigt<br>Angebot 2021-0228-15 | Gunnar Ewald     |

## Inhalt

|     |                                               |    |
|-----|-----------------------------------------------|----|
| 1   | Eingereichte Unterlagen .....                 | 3  |
| 1.1 | Geprüfte Unterlagen .....                     | 3  |
| 1.2 | Zugehörige Unterlagen .....                   | 6  |
| 2   | Prüfgrundlagen .....                          | 8  |
| 3   | Einführung .....                              | 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 .....                      | 10 |
| 4.5 | Laufzeitverlängerung .....                    | 10 |
| 4.6 | Sturmregelung .....                           | 10 |
| 5   | Durchgeführte Prüfung .....                   | 10 |
| 5.1 | Prüfmethodik .....                            | 10 |
| 5.2 | Anmerkungen .....                             | 11 |
| 5.3 | Prüfergebnisse .....                          | 11 |
| 5.4 | Schnittstellen .....                          | 12 |
| 6   | Auflagen und Hinweise .....                   | 13 |
| 7   | Offene Punkte .....                           | 14 |
| 8   | Schlussfolgerung .....                        | 14 |

## **1 Eingereichte Unterlagen**

### **1.1 Geprüfte Unterlagen**

#### **Betriebsführung- und Sicherheitssystem**

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
"Technical description ENERCON E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D1018637  
Rev. 3.0, Datum: 27.07.2021
- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
"Betriebsanleitung, Beschreibung und Bedienung ENERCON  
Windenergieanlage E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02468862  
Rev. 3.2 Datum: 06.07.2022
- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
"Description Safety System, RS0000011-SafetyRS EP-SCS-03"  
Dok. ID: D02254818  
Rev. 4.0, Datum: 17.01.2022
- [1.1.4] ENERCON GmbH:  
"Description Control system safety, System Hardware Architecture NG CS"  
Dok. ID: D02174908  
Rev. 2.0, Datum: 04.06.2021
- [1.1.5] ENERCON GmbH:  
"E-138 E3 & E-115 E4 System Requirement Specification - Scoping"  
Dok. ID: D02280725  
Rev. 2.1, Datum: 23.02.2021
- [1.1.6] ENERCON GmbH:  
"E-138 EP3 E3, E-115 EP3 E4 System Architecture Description"  
Dok. ID: D02451379  
Rev. 1.0, Datum: 14.02.2020
- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
"Technical description Fehlermodes Control System E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02544555  
Rev. 0.4, Datum: 13.01.2022
- [1.1.8] ENERCON GmbH:  
"Risk assessment, System Requirement Specification E-138 EP3 E3,  
E-115 EP3 E4 Scoping"  
Dateiname: D02280728\_5.0\_System\_Requirements\_E-138\_E3\_E-115\_E4.xlsx  
Rev. 5, Datum: 18.01.2022

- [1.1.9] ENERCON GmbH:  
"System FMEA, Sicherheitssystem EP-SCS-03, E-138 EP3 E3 / E-115 EP3 E4"  
TC Nummer: D02273147\_1.0-de  
Dateiname: D02273147\_1.0\_System FMEA E-138 EP3 E3.xlsx  
Rev. 1.0, Datum: 23.09.2022
- [1.1.10] ENERCON GmbH:  
"System-FMEA Lasten Gesamtsystem WEA E-138 EP3 E3 und E-115 EP3 E4"  
TC Nummer: D02692413\_1.0  
Dateiname: D02692413\_1.0\_System\_FMEA\_Lasten\_E-138\_EP3\_E3\_E115\_EP3\_E4.xlsx  
Rev. 1.0, Datum: 31.08.2022
- [1.1.11] ENERCON GmbH:  
"Teilsystem - FMEA Yawsystem WEA E-138 EP3 E3 und E-115 EP3 E4"  
TC-Nummer: D02411601  
Dateiname: D02411601\_3.0\_Teilsystem FMEA E-138 EP3 E3 Yawsystem.xlsx  
Rev. 3.0, Datum: 29.09.2022
- [1.1.12] ENERCON GmbH:  
"Prototype test plan, Safety and Function Test"  
Dok. ID: D02561833  
Rev. 0.0, Datum: 07.01.2022
- [1.1.13] ENERCON GmbH:  
"V&V Plan NG CS ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 & E-115 EP3 E4"  
Dok. ID: D02549886  
Rev. 0.0, Datum: 01.12.2021
- [1.1.14] ENERCON GmbH:  
"Bezug der Lastensimulationen zur System-FMEA E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02572248/3.1-de / TC  
Datum: 08.02.2022

### **Handbücher**

- [1.1.15] ENERCON GmbH:  
"Inbetriebnahmeanleitung, Inbetriebnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02497612  
Rev. 0.0, Datum: 05.10.2021
- [1.1.16] ENERCON GmbH:  
"Verladehandbuch E-115 E3/E-126/E-138 E1E2 EP3"  
Dok. ID: PLM-TES-DC032-VH\_E-115E3\_E-126\_E-138E1E2\_EP3-Rev001de-de  
Rev. 1, Datum: 25.10.2019

- [1.1.17] ENERCON GmbH:  
"Montageanleitung Vormontage und Montage Gondel E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: TD-gccs-08-de-de-21-075  
Rev. 1, Datum: 23.06.2022
- [1.1.18] ENERCON GmbH:  
"Gebrauchsanleitung, Arretierungseinheit Rotorblatt EP3"  
Dok. ID: D0912436  
Rev. 0, Datum: 10.01.2020
- [1.1.19] ENERCON GmbH:  
"Wartungsanleitung, Hauptwartung Windenergieanlage E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02510835  
Rev. 1, Datum: 17.01.2022
- [1.1.20] ENERCON GmbH:  
"Arbeitsanleitung, Nachziehen des Hauptstrangs, E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02489595  
Rev. 1, Datum: 17.01.2022
- [1.1.21] ENERCON GmbH:  
"Montageanleitung, Generelle Montage, EP3 Stahlrohrturm und Hybridturm-Stahlurm (HST)"  
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-20-102  
Rev. 0a, Datum: 23.02.2021
- [1.1.22] ENERCON GmbH:  
"Montageanleitung, Generelle Montage Stahlrohrturm (ST) u. Stahlsektion (HT)"  
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-16-015  
Rev. 4a, Datum: 18.03.2021
- [1.1.23] ENERCON GmbH:  
"Montageanleitung, Generelle Montageanleitung Hybridturm (HT)"  
Dok. ID: TD-esc-08-de-de-15-001  
Rev. 15, Datum: 16.08.2020
- [1.1.24] ENERCON GmbH:  
"Technische Anweisung Scruton-Wendel am Turm montieren "  
Dok. ID: TD-gccs-01-de-de-21-002  
Rev. 1, Datum: 21.09.2021
- [1.1.25] ENERCON GmbH:  
"Specification Bolting of Ring Flanges"  
Dok. ID: D0215476  
Rev. 2, Datum: 05.01.2017
- [1.1.26] ENERCON GmbH:  
"Minimum Bolting Specification HST, E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01"  
Dok. ID: D02412584  
Rev. 0, Datum: 21.08.2021

[1.1.27] ENERCON GmbH:

"Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften"  
Dok. Nr.: BA\_bl\_1001-1\_Gesundheits-, Arbeits- und  
Umweltschutzvorschriften\_WEA-Service\_Rev001\_de-de  
Rev. 1, Datum: 12.12.2019

[1.1.28] ENERCON GmbH:

"Handbuch ENERCON Windpark Sicherheit, Sicherheit der Überwachung,  
Fernsteuerung und Anbindung von Windparks"  
Dok. ID: ESC\_ENERCON Windpark Sicherheit\_Rev000 de-de  
Rev. 0, Datum: 28.03.2019

[1.1.29] ENERCON GmbH:

"Minimum Bolting Specification HST, E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01"  
Dok. ID: D02454031  
Rev. 0, Datum: 04.03.2022

[1.1.30] ENERCON GmbH:

"Montageanleitung, Montage Stahlsektionen, Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-  
160-ES-C-01"  
Dok. ID: TD-seko-08-de-de-23-001  
Rev. 0, Datum: 29.11.2022

[1.1.31] Max Bögl:

"Errichtungsanleitung, Hybridturm E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01"  
Dok. ID: WEA ErrAnl E22  
Rev. 0, Datum: 15.11.2022

## **1.2 Zugehörige Unterlagen**

[1.2.1] ENERCON GmbH:

"Design Basis E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02294156  
Rev. 3.2, Datum: 21.01.2022

[1.2.2] ENERCON GmbH:

"Installation Overview E-138 EP3-ST-131-FB-C-01"  
Dokument Nr.: PLM-TES-DC026-VH\_Stahlurm  
Rev. 2, Datum: 23.07.2020

[1.2.3] ENERCON GmbH:

"Verkabelungsanleitung Windenergieanlage E-138 EP3 E3 & E-115 EP3 E4"  
Dok. ID: TD-gccs-08-de-de-21-XX  
Rev. 0, Datum: 28.09.2021

[1.2.4] ENERCON GmbH:

"Parameterliste Safety System E-138 EP3 E3 (EP-SCS-03)"  
Dok. ID: D02374961  
Rev. 2, Datum: 19.11.2019

- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
"Reglerbeschreibung E-138 EP3 E3"  
Dok. ID: D02398709  
Rev. 1, Datum: 23.09.2022
- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
"Control System Entwicklungsprozess v1.0"  
Dok. ID: D0469841  
Rev. 0, Datum: 26.05.2016
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
"Qualitäts- und Testrichtlinie Embedded Systems"  
Dok. ID: D0484842  
Rev. 0, Datum: 26.05.2021
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
„Spezifikation, Schraubparameter SV Maschinenträger – Azimutlager  
E-126 EP3/ E-138 EP3“  
Document ID: D0841153  
Rev. 1, dated: 2020-10-05
- [1.2.9] ENERCON GmbH:  
„Technische Spezifikation Übergabedokument Schraubparameter  
(drehwinkelgesteuert) WEA: E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3  
Schraubverbindung: Statortragstern – Maschinenträger“  
Document ID: D02535392  
Rev. 0, dated: 2022-02-03
- [1.2.10] TÜV Rheinland Industrie Service GmbH:  
"Certificate Product tested: PitchOne Pitch-Servocontroller"  
Dokument Nr.: 968/FSP 2400.00/22  
Datum: 31.03.2022
- [1.2.11] ENERCON GmbH:  
"Lastfallbeschreibung IEC ed.4 + DIBt 2012"  
Dok. ID: D1014380  
Rev. 3.2, Datum: 02.06.2022
- [1.2.12] ENERCON GmbH:  
"SISTEMA - Sicherheit von Steuerungen an Maschinen, ENERCON Safety  
Control System EP-SCS-03"  
Prüfsumme: 6d332e0737c186a11985820c5265b580  
Datum: 17.11.2022

## 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 Einführung

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

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Turbinen Konfiguration

Die Windenergieanlagen der ENERCON E-138 EP3 E3 Plattform sind dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 4260 kW. Die Turbinen funktionieren nach dem Prinzip variable Leistung durch Einzelblattverstellung. Die Turbinen sind getriebelos, 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:

| Typ                                                   | E-138 EP3 E3               |                                        |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| Windklasse                                            | IEC III A, DIBt WZ 2 GK II | IEC S A, DIBt WZ S                     |
| Nennleistung                                          | 4260 kW                    |                                        |
| Rotorblatt (Durchmesser)                              | E-138 EP3-RB-02 (138.25 m) |                                        |
| Turmtyp (Nabenhöhe)                                   | Hybridturm (HT) 160 m      | Hybrid Stahlturm (HST)<br>111 m, 131 m |
| Drehzahlgrenze<br>Betriebsführung (n <sub>4</sub> )   | 12.80 U/min                |                                        |
| Drehzahlgrenze<br>Sicherheitssystem (n <sub>A</sub> ) | 13.90 U/min                |                                        |
| Einschaltwindgeschw.                                  | 2.5 m/s                    |                                        |
| Nennwindgeschw.                                       | 12.1 m/s                   |                                        |

| Typ                        | E-138 EP3 E3                               |
|----------------------------|--------------------------------------------|
| Abschaltwindgeschw.        | 28 m/s (10 Minuten Mittelwert)             |
| Controller Hardware        | EP-SCS-03 / Phoenix                        |
| Controller Softwareversion | PI-CS-EP3-01                               |
| 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 ENERCON E-138 EP3 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 E-138 EP3 E3 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].

#### **4.6 Sturmregelung**

Die Sturmregelung ermöglicht den Betrieb der Windenergieanlage auch 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 Minimum bei 32 m/s (12-Sekunden-Mittelwert). Die Abschaltwindgeschwindigkeit bei aktiver Sturmsteuerung beträgt 28 m/s (10-Minuten-Mittelwert).

### **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 [1.1.8], [1.1.9], [1.1.10] und [1.1.11] wurde das Sicherheitssystem auf seine Fähigkeit, die Windenergieanlage bei Ausfall der Steuerung in einem sicheren Zustand zu halten überprüft. Mit [1.1.3] und [1.2.12] wurden die Performance Level der Schutzfunktionen gemäß den Anforderungen der EN ISO 13849-1 überprüft.

Der Pitchumrichter wurde separat zertifiziert [1.2.8] und hat 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-138 EP3 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., Schraubenmomente, Schmierstoffe, Gewichte und Abmessungen, elektrische Eigenschaften etc. sind nicht Bestandteil dieses Prüfberichts.

## **5.2 Anmerkungen**

### **5.2.1 Haftungsausschluss**

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

### **5.2.2 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)**

Zur Überprüfung relevanter Fehlerereignisse nach den Anforderungen der DIN EN 61400-1 Edition 4 [2.2] wurden die FMEA's [1.1.9] und [1.1.11] sowie die dazugehörige Lastfall-FMEA [1.1.10] überprüft. Die Fehlerlastfälle aus der FMEA werden gemäß den Anforderungen der DIN EN 61400-1 Edition 4 [2.2] berücksichtigt.

## **5.3 Prüfergebnisse**

### **5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem**

Das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems ist geeignet den sicheren Betrieb der ENERCON E-138 EP3 E3 Windenergieanlagen, siehe Tabelle 4.1, zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

### **5.3.2 Qualitätssicherung**

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der E-138 EP3 E3 zu verringern. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA). Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler sind in [1.1.8], [1.1.9], [1.1.10] und [1.1.11] 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 [1.1.3] 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 [1.1.28] 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 Errichtung der E-138 EP3 E3 mit dem HST-131-FB-C-01 ist in [1.1.26] sowie für die E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 in [1.1.29] beschrieben und zu berücksichtigen.

### 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-138 EP3 E3 überprüft.

## **6 Auflagen und Hinweise**

6.1 Die Handbücher müssen dem Personal in einer für sie verständlichen Sprache zur Verfügung gestellt werden.

6.2 Jede Windenergieanlage dieses Typs muss mindestens entsprechend den Inbetriebnahmeanleitungen getestet werden. Der ordnungsgemäße Zustand ist vom Hersteller zu bestätigen. Der Inbetriebnahmebericht ist dem Betreiber jeweils zusammen mit den Handbüchern und Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen zu übergeben. Die Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen sind zu befolgen und die durchgeführten Arbeiten in den entsprechenden Berichten zu protokollieren

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 E-138 EP3 E3 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-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 sind die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen in [1.1.29] 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-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01 sind die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen in [1.1.26] zu berücksichtigen. Die finalen Errichtungshandbücher müssen von ENERCON zur Verfügung gestellt und vom TÜV NORD geprüft werden bevor der erste Serienturm errichtet wird.

## 7 Offene Punkte

keine

## 8 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die in Tabelle 4.1 spezifizierten Windenergieanlagen der ENERCON E-138 EP3 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 und offenen Punkte in Kapitel 7 konform zur DIBt-Richtlinie [2.1].

erstellt:



Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald

freigegeben:



Dipl.-Ing. L. Klüppel

# **Gutachtliche Stellungnahme**

## **ENERCON E-138 EP3 E3**

### **– Elektrische Komponenten und Blitzschutz –**

|                             |                                                                                                              |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TÜV NORD Report Nr.:</b> | 8119224863-5 D Rev. 1                                                                                        |
| <b>Prüfobjekt:</b>          | Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E3                           |
| <b>Prüfumfang:</b>          | <ul style="list-style-type: none"><li>- DIBt 2012</li><li>- IECRE OD-501</li><li>- DIN EN 61400-22</li></ul> |
| <b>Hersteller:</b>          | ENERCON GmbH<br>Dreekamp 5<br>26605 Aurich<br>Deutschland                                                    |

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 30 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen                                                                                                                                                                                                                  | Experte  |
|----------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 0        | 17.02.2022 | Erste Fassung                                                                                                                                                                                                               | H. Grafe |
| 1        | 28.09.2022 | Gesamtes Dokument überarbeitet,<br>Geänderte Nummerierung der Dokumente in<br>Kapitel 1,<br>Alternativen Azimut Motor hinzugefügt,<br>Geänderte Seiten: 4-6, 8, 9, 13 - 16, 20 - 22,<br>24, 25, 29, 30<br>Angebot 2020-0297 | J. Dumke |

## Inhaltsverzeichnis

|      |                                                   |    |
|------|---------------------------------------------------|----|
| 1    | Dokumente .....                                   | 4  |
| 1.1  | System Beschreibung .....                         | 4  |
| 1.2  | Generator .....                                   | 4  |
| 1.3  | Umrichter.....                                    | 5  |
| 1.4  | Transformator.....                                | 5  |
| 1.5  | Mittelspannungsschaltanlage .....                 | 6  |
| 1.6  | Blitzschutz .....                                 | 7  |
| 1.7  | Schleifringübertrager .....                       | 8  |
| 1.8  | Elektrischer Antrieb Azimut .....                 | 8  |
| 1.9  | Elektrischer Pitchantrieb.....                    | 12 |
| 1.10 | Back-up System, Ladegeräte, Energiespeicher ..... | 13 |
| 1.11 | Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung.....    | 13 |
| 1.12 | Schaltpläne .....                                 | 14 |
| 1.13 | EMV .....                                         | 14 |
| 1.14 | Zugehörige Dokumente.....                         | 16 |
| 2    | Prüfgrundlagen .....                              | 16 |
| 3    | Einleitung .....                                  | 17 |
| 4    | Beschreibung der Windenergieanlage .....          | 18 |
| 4.1  | Beschreibung der WEA Konfigurationen .....        | 18 |
| 4.2  | Klimatische Bedingungen.....                      | 18 |
| 4.3  | Eigenschaften Elektrische Komponenten.....        | 18 |
| 5    | Durchgeführte Prüfungen.....                      | 23 |
| 5.1  | Prüfmethode.....                                  | 23 |
| 5.2  | Anmerkungen.....                                  | 23 |
| 5.3  | Prüfbemerkungen.....                              | 24 |
| 5.4  | Schnittstellen .....                              | 29 |
| 6    | Auflagen.....                                     | 29 |
| 7    | Schlussfolgerung .....                            | 30 |

## **1 Dokumente**

### **1.1 System Beschreibung**

[1.1.1] ENERCON  
EG/EU-Konformitätserklärung  
Dokumenten-Nr.: D0376121\_15  
Rev. -, Datum: 10.01.2022 (empfangen)

[1.1.2] ENERCON  
Wartungsanleitung Hauptwartung  
Dokumenten-Nr.: D02510835\_1  
Rev. 1, Datum: 17.01.2022

### **1.2 Generator**

[1.2.1] ENERCON  
Kurzbeschreibung Generator E-138 EP3 E3-GE-01  
Dokumenten-Nr.: D08825322486441-0a  
Rev. 0, Datum: 24.09.2021

[1.2.2] ENERCON  
E-138 EP3 E3-GE-01 Thermisches Verhalten und Prüfung nach DIN 60034  
Dokumenten-Nr.: D08825342486475-0.0  
Rev. 0, Datum: 24.09.2021

[1.2.3] ENERCON  
Herstellereerklärung, Drehzahlauslegung des Generator-Rotors vom Typ E-138 EP3 E3-GE-01  
Dokumenten-Nr.: D08825312488276-0.0  
Rev. 0, Datum: 27.09.2021

[1.2.4] ENERCON  
Technisches Datenblatt\_E-138 EP3 E3 GE-01  
Dokumenten-Nr.: D02490413\_0.0  
Rev. 0, Datum: 30.09.2021 (empfangen)

[1.2.5] ENERCON  
Manufacturing record - Generator stator E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D02486966\_0.1  
Rev. 0, Datum: 16.12.2021

[1.2.6] ENERCON  
Manufacturing record - Generator rotor E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D02486967\_0.0  
Rev. 0, Datum: 03.12.2021

- [1.2.7] ENERCON  
Manufacturing record - Pole shoe set E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D02486968\_0.0  
Rev. 0, Datum: 04.11.2021
- [1.2.8] ENERCON  
Fertigungsprotokoll – Generator-Stator E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D02486966\_0.3  
Rev. 0, Datum: 17.02.2022

### **1.3 Umrichter**

- [1.3.1] ENERCON  
Technische Beschreibung „Facelift-Converter“ SAP 778844  
Dokumenten-Nr.: D02525380  
Rev. 0, Datum: 22.10.2021
- [1.3.2] ENERCON  
Datenblatt Facelift-Converter (Artikel-Nr. 778845)  
Dokumenten-Nr.: D02479849\_0.0  
Rev. 0, Datum: 30.09.2021
- [1.3.3] ENERCON  
Typenschild Schrank Leistungs- B2B FL STD (Artikel-Nr. 778845)  
Dokumenten-Nr.: 778844  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02524810\_0.0  
Rev. 0, Datum: 30.09.2021 (empfangen)
- [1.3.4] ENERCON  
Technische Beschreibung Cooling power cabinet Facelift  
Dokumenten-Nr.: D02569701\_0.0  
Rev. 0, Datum: 24.01.2022

### **1.4 Transformator**

- [1.4.1] ENERCON  
Specification Transformer inside nacelle 4,7 / 5,1MVA 750V  
Dokumenten-Nr.: D1015892-1  
Rev. 1, Datum: 01.02.2021
- [1.4.2] ENERCON  
Type certification of distribution transformers  
Dokumenten-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001 ger-  
eng  
Rev. 1, Datum: 17.02.2014 2014-02-17

- [1.4.3] SGB-SMIT Group  
Technical specification VE621719  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02281074\_1.0  
Rev. -, Datum: 16.04.2021
  
- [1.4.4] SGB-SMIT Group  
Inspection certificate EN 10204 – 3.1  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02548790\_0.0  
Rev. -, Datum: 08.2017
  
- [1.4.5] SGB-SMIT Group  
Rating Plate  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02548796\_0.0  
Rev. -, Datum: 17.01.2022 (empfangen)
  
- [1.4.6] KEMA B.V.  
PRELIMINARY REPORT  
Dokumenten-Nr.: 72119346-02  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02550018\_0.0  
Rev. -, Datum: 14.10.2021
  
- [1.4.7] SGB-SMIT Group  
Routine Test-Report  
Dokumenten-Nr.: 2802308  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02550035\_0.0  
Rev. -, Datum: 23.09.2021

## **1.5 Mittelspannungsschaltanlage**

- [1.5.1] ENERCON  
Specification V6 medium-voltage switchgear  
Dokumenten-Nr.: D1015798-2  
Rev. 2.0, Datum: 08.08.2022
  
- [1.5.2] Siemens  
Spezifikation für die Mittelspannungsschaltanlage 8DJH 24kV  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02188924\_2.0  
Rev. -, Datum: 20.04.2022
  
- [1.5.3] Siemens AG  
Electrotechnical documents ENERCON RV - 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02188927\_1.0  
Rev. -, Datum: 02.09.2021
  
- [1.5.4] Siemens AG  
Prüfbescheinigung / Test Certificate ENERCON RV - 8DJH 24KV RRL ARS  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02522702\_0.0  
Rev. -, Datum: 11.03.2021

- [1.5.5] Siemens AG  
Maßbild Wandaufstellung\_500\_8841\_9\_BL1  
Dokumenten-Nr.: 500\_8841.9  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02305762\_0.0  
Rev. -, Datum: 09.10.2012

## **1.6 Blitzschutz**

- [1.6.1] ENERCON  
Technische Beschreibung Blitzschutz ENERCON Windenergieanlagen  
Dokumenten-Nr.: D0260891-13.2  
Rev. -, Datum: 08.12.2021
- [1.6.2] ThyssenKrupp Rothe Erde  
Blitzstromtragfähigkeit Pitchlager E-126 IEC Ia  
Dokumenten-Nr.: D0501044\_0\_150828  
Rev. -, Datum: 28.08.2015
- [1.6.3] Liebherr-Components Biberach GmbH  
Stellungnahme Blitzstromtragfähigkeit von Kugeldrehverbindungen  
Dokumenten-Nr.: D0501046\_0\_20150713b1  
Rev. -, Datum: 13.07.2015
- [1.6.4] ThyssenKrupp Rothe Erde  
Blitzstromtragfähigkeit von zweireihigen 4-Punkt-Lagern von thyssenkrupp  
Rothe Erde und PSL  
Dokumenten-Nr.: D0624556\_0  
Rev. -, Datum: 14.07.2017
- [1.6.5] ENERCON  
Technical description Lightning protection system E-138 EP3-RB-02  
Dokumenten-Nr.: D0834243\_1.0  
Rev. 1, Datum: 10.09.2021
- [1.6.6] ENERCON  
Zusammenbauzeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan  
Dokumenten-Nr.: D02441673\_1.0  
Rev. 1, Datum: 29.10.2021
- [1.6.7] ENERCON  
Technical description Comparison of LPS E-103 EP2-RB-01 and E-138 EP3-  
RB-02  
Dokumenten-Nr.: D02459612/0.0  
Rev. 0, Datum: 10.09.2021

- [1.6.8] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile  
Dokumenten-Nr.: R1153.190.10001-4.0  
Rev. -, Datum: 21.07.2021
  
- [1.6.9] ENERCON  
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel  
Dokumenten-Nr.: R1153.190.10002-1  
Rev. -, Datum: 10.08.2019
  
- [1.6.10] ENERCON  
Technical Description  
Lightning protection system of the E-138 EP3-RB-02 rotor blade  
Dokumenten-Nr.: D0834243-0  
Rev. 0, Datum: 15.05.2019
  
- [1.6.11] ENERCON  
Technische Information  
Messung des Erdungswiderstands  
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-DC008  
Rev. 06, Datum: 30.08.2016

## **1.7 Schleifringübertrager**

- [1.7.1] ENERCON  
Schleifringübertrager - Baugruppenschaltplan  
Dokumenten-Nr.: D1027239\_0  
Rev. -, Datum: 08.09.2021
  
- [1.7.2] ENERCON  
Specification - Slip ring unit EP3-004-BH0-ENC0-FORJ1  
Dokumenten-Nr.: D02549863/0.0  
Rev. 0, Datum: 16.12.2021
  
- [1.7.3] ENERCON  
Spezifikation - Schleifringübertrager EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1  
Dokumenten-Nr.: D0866477-0  
Rev. 0, Datum: 02.12.2021

## **1.8 Elektrischer Antrieb Azimut**

- [1.8.1] ENERCON  
Requirements Specification - NG-Yaw motor - Release V1.03  
Dokumenten-Nr.: D02318193\_2.1  
Rev. 2.1, Datum: 24.11.2021

- [1.8.2] Bonfiglioli  
Technical Drawing Bonfiglioli NG-Yaw motor  
Zeichnungs-Nr.: CD00019588  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02485818\_0.0  
Rev. 1, Datum: 23.11.2021 (empfangen)
  
- [1.8.3] Bonfiglioli  
Motor datasheet – JB00023132 – YAW  
Dokumenten-Nr.: BUINS\_BMR\_UT\_DTS\_016  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02563703\_0.0  
Rev. 0, Datum: 10.01.2022
  
- [1.8.4] Bonfiglioli  
EC Declaration of conformity  
Dokumenten-Nr.: D02553242\_0.0  
Rev. -, Datum: 01.12.2021
  
- [1.8.5] ENERCON  
Requirements Specification - NG-Yaw motor (soft brake)  
Dokumenten-Nr.: D02581962\_0.1  
Rev. 0.1, Datum: 31.01.2022
  
- [1.8.6] Bonfiglioli  
Technical Drawing Bonfiglioli NG-Yaw motor (soft brake)  
Zeichnungs-Nr.: CD00021286  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02583714\_0.0  
Rev. 01, Datum: 23.03.2022 (empfangen)
  
- [1.8.7] Bonfiglioli  
Motor datasheet – JB00025049 – YAW  
Dokumenten-Nr.: BUINS\_BMR\_UT\_DTS\_018  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02628771\_0.0  
Rev. 0, Datum: 10.01.2022
  
- [1.8.8] Bonfiglioli  
EC Declaration of conformity  
Dokumenten-Nr.: D02553299\_1.0  
Rev. -, Datum: 21.02.2022
  
- [1.8.9] Ingenieurbüro Hoffmann GmbH  
Measurement report - Qualification of the Bonfiglioli prototype on the Siemens S120, with the motor module 18A type D (Enercon - yaw system)  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02630739\_0.0  
Rev. 01, Datum: 18.02.2022

- [1.8.10] ENERCON  
Requirements Specification - Yaw Encoder  
Dokumenten-Nr.: D0966161-0  
Rev. 0, Datum: 22.05.2020
  
- [1.8.11] TWK-ELEKTRONIK GmbH  
Yaw Encoder - User manual  
Dokumenten-Nr.: TRT 12846 NE  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02251218\_0.0  
Rev. -, Datum: 20.02.2020
  
- [1.8.12] TWK-ELEKTRONIK GmbH  
Data Sheet Yaw Encoder TRTS3  
Dokumenten-Nr.: TRT 12845 VD  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02251222\_0.0  
Rev. -, Datum: 01.12.2020
  
- [1.8.13] Siemens  
Datenblatt SITOP PSU8600  
Dokumenten-Nr.: 6EP3437-8SB00-2AY0  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02296524\_0.0  
Rev. -, Datum: 16.02.2021
  
- [1.8.14] Siemens  
Datenblatt für Braking Module  
Dokumenten-Nr.: 6SL3400-1AE31-0AA1  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02298262\_0.0  
Rev. -, Datum: 24.02.2021
  
- [1.8.15] Siemens  
Datenblatt für Motor Module  
Dokumenten-Nr.: 6SL3120-2TE21-8AD0  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02298465\_0.0  
Rev. -, Datum: 19.02.2021
  
- [1.8.16] Siemens  
Datenblatt SIMATIC Drive Controller  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02300950\_0.0  
Rev. -, Datum: 01.03.2021
  
- [1.8.17] Siemens  
Datenblatt für Voltage Sensing Module  
Dokumenten-Nr.: 6SL3053-0AA00-3AA1  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02303681\_0.0  
Rev. -, Datum: 01.03.2021

- [1.8.18] Siemens  
Datenblatt für S120 Active Interface Module Booksize  
Dokumenten-Nr.: 6SL3100-0BE28-0AB0  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02323372\_0.0  
Rev. -, Datum: 09.04.2021
  
- [1.8.19] Siemens  
Datenblatt für Active Line Modules  
Dokumenten-Nr.: 6SL3130-7TE28-0AA3  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02350494\_0.0  
Rev. -, Datum: 30.04.2021
  
- [1.8.20] Siemens  
Dimension with Frame  
Dokumenten-Nr.: 6SL3400-1AE31-0AA1  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02298266\_0.0  
Rev. -, Datum: 25.02.2020
  
- [1.8.21] Siemens  
Equipment Manual SIMATIC Drive Controller  
Dokumenten-Nr.: A5E46600370-AA  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02300954\_0.0  
Rev. -, Datum: 11.2019
  
- [1.8.22] Siemens  
Dimension with Frame  
Dokumenten-Nr.: 6SL3053-0AA00-3AA1  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02303683\_0.0  
Rev. -, Datum: 17.01.2022 (empfangen)
  
- [1.8.23] Siemens  
Function Manual - SINAMICS S120 Drive functions  
Dokumenten-Nr.: D02567286\_0.0  
Rev. -, Datum: 06.2020
  
- [1.8.24] Siemens  
List Manual - SINAMICS S120/S150  
Dokumenten-Nr.: D02567289\_0.0  
Rev. -, Datum: 06.2020
  
- [1.8.25] Siemens  
System Manual – SINAMICS S120  
Dokumenten-Nr.: D02567292\_0.0  
Rev. -, Datum: 01.2021

## **1.9 Elektrischer Pitchantrieb**

- [1.9.1] ENERCON  
Requirements Specification - Pitch motor 32/120 - Release V2.12  
Dokumenten-Nr.: D02310324\_0.2  
Rev. 0.2, Datum: 17.08.2021
  
- [1.9.2] KEBA Industrial Automation Germany GmbH  
Technisches Datenblatt Pitch Servo Drives  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0870504\_0  
Rev. 2, Datum: 03.2019
  
- [1.9.3] KEBA Industrial Automation Germany GmbH  
Betriebsanleitung Pitch Servoregler  
Dokumenten-Nr.: 1790.001B.1-01  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0918644-2  
Rev. -, Datum: 10.2020
  
- [1.9.4] Kübler  
Datenblatt Winkelgeber - 8.F5863.1215.G321  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0988925\_5.0  
Rev. -, Datum: 09.2018
  
- [1.9.5] Wilo  
Motor Data Sheet  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D1024464\_3.0  
Rev. -, Datum: 26.10.2021 (empfangen)
  
- [1.9.6] Ingenieurbüro Hoffmann GmbH  
Technical report - Qualification of the Wilo prototype M112BM1-4F40Y1-  
PZ55 with the Keba PitchONE  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02447510\_0.0  
Rev. 01, Datum: 30.07.2021
  
- [1.9.7] Bonfiglioli  
Motor datasheet – JB00023142 – PITCH  
Dokumenten-Nr.: BUINS\_BMR\_UT\_DTS\_017  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02563706\_0.0  
Rev. 0, Datum: 10.01.2022
  
- [1.9.8] Bonfiglioli  
Technische Zeichnung  
Dokumenten-Nr.: CD00019614  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02529670\_1.0  
Rev. A, Datum: 19.11.2021

[1.9.9] Ingenieurbüro Hoffmann GmbH  
Measurement report - Qualification of the Bonfiglioli prototype X\_VSDMOT  
BMD 132S 50 2000 380 B5 38 K 55 with the Keba PitchONE  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02630733\_0.0  
Rev. 00, Datum: 14.02.2022

[1.9.10] Wilo  
EU/EG KONFORMITÄTSERKLÄRUNG  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02326630-0.0  
Rev. -, Datum: 17.03.2020

## **1.10 Back-up System, Ladegeräte, Energiespeicher**

[1.10.1] ENERCON  
Requirements Specification - Energy Storage NG 2.0 Release - V3.02  
Dokumenten-Nr.: D0915962-1  
Rev. 6, Datum: 06.09.2021

[1.10.2] SECH SA  
Cabinet datasheet - 522V 2F module  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02477608\_0.0  
Rev. -, Datum: 22.06.2021

## **1.11 Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung**

[1.11.1] Prysmian  
Data sheet WINDFLEX GLOBAL S-3GSHOEU 1,8/3 kV  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D1003854\_0  
Rev. -, Datum: 17.07.2021

[1.11.2] ENERCON  
Low voltage distribution - Assembly circuit diagram  
Dokumenten-Nr.: D1027188\_0  
Rev. -, Datum: 23.08.2021

[1.11.3] ENERCON  
Low voltage distribution – 750 V-5000 kVA-80 kA V1  
Dokumenten-Nr.: D02428865\_0.0  
Rev. -, Datum: 08.09.2021

[1.11.4] Prysmian  
Data sheet WINDFLEX-S (N)TSCGEHXOEU /320/35 kV  
ENERCON Dokumenten-Nr.: D02436301\_0.0  
Rev. -, Datum: 24.07.2020

- [1.11.5] ENERCON  
Technical information - EP3 E-Nacelle | Low voltage power cable dimensioning  
Dokumenten-Nr.: D02521591\_0.0-en  
Rev. 0, Datum: 18.10.2021

## **1.12 Schaltpläne**

- [1.12.1] ENERCON  
Übersichtsschaltplan E-115 EP3 E4 E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D1027154\_0  
Rev. -, Datum: 29.09.2021
- [1.12.2] ENERCON  
Übersichtsschaltplan E-Gondel E-115 EP3 E4 / E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D1027255\_0.1  
Rev. -, Datum: 29.09.2021
- [1.12.3] ENERCON  
Assembly drawing power cabinet B2B FL  
Dokumenten-Nr.: D02331884\_0.0  
Rev. 0, Datum: 21.07.2021

## **1.13 EMV**

- [1.13.1] ENERCON  
Technische Spezifikation Prüfanforderungen EMV - Erforderliche Prüfungen WEA  
Dokumenten-Nr.: D0652486\_5.0  
Rev. 5, Datum: 16.02.2022
- [1.13.2] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Grid filter cabinet  
Dokumenten-Nr.: D02545609\_0.0  
Rev. 0, Datum: 30.09.2021
- [1.13.3] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Low voltage distribution Generator EP3 VAR  
Dokumenten-Nr.: D02549215\_0.0  
Rev. 0, Datum: 10.12.2021
- [1.13.4] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Sub-distribution sensor technologie NG-Pitch EP3 V1 VAR  
Dokumenten-Nr.: D02536279\_0.2  
Rev. 0.2, Datum: 09.02.2022

- [1.13.5] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Terminal box monitoring system Box for bat detection  
Dokumenten-Nr.: D02545411  
Rev. 0.0, Datum: 17.12.2021
  
- [1.13.6] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Power cabinet B2B FL VAR  
Dokumenten-Nr.: D02546859\_0.0  
Rev. 0.0, Datum: 09.02.2022
  
- [1.13.7] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Control cabinet transformer e-nacelle / nacelle  
Dokumenten-Nr.: D02550376\_0.1  
Rev. 0.1, Datum: 24.01.2022
  
- [1.13.8] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Control cabinet E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D02561473\_0.0  
Rev. 0.0, Datum: 24.01.2022
  
- [1.13.9] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Residual current monitoring generator E138 EP3 STD  
Dokumenten-Nr.: D02562733\_0.2  
Rev. 0.2, Datum: 04.02.2022
  
- [1.13.10] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Communication distributor 42 RU  
Dokumenten-Nr.: D02563090\_0.1  
Rev. 0.1, Datum: 16.02.2022
  
- [1.13.11] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Control cabinet transformer E-Nacelle | towerbase V1 VAR  
Dokumenten-Nr.: D02563438\_0.0  
Rev. 0.0, Datum: 01.02.2022
  
- [1.13.12] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Nacelle control cabinet E-nacelle  
Dokumenten-Nr.: D02565062\_0.1  
Rev. 0.1, Datum: 28.02.2022

- [1.13.13] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - UPS device control E-nacelle  
Dokumenten-Nr.: D02590562\_0.0  
Rev. 0.0, Datum: 10.02.2022
- [1.13.14] ENERCON  
Risk assessment in accordance with EMC Directive 2014/30/EU - Low voltage distribution 750 V-5000 kVA-80 kA V1  
Dokumenten-Nr.: D02622456\_0.0  
Rev. 0.0, Datum: 10.02.2022

## **1.14 Zugehörige Dokumente**

- [1.14.1] ENERCON  
Design Base E-138 EP3 E3  
Dokumenten-Nr.: D02294156  
Rev. 3.2, Datum: 21.01.2022
- [1.14.2] ENERCON  
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen  
Dokumenten-Nr.: D0666243\_5.0  
Rev. 5, Datum: 14.10.2021
- [1.14.3] ENERCON  
Safety Requirement Specification, RS0000011-SafetyRS EP-SCS-03  
Dokumenten-Nr.: D02254818\_4.0  
Rev. 4.0, Datum: 17.01.2022
- [1.14.4] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG  
Evaluation Report Wind Turbine ENERCON E-138 EP3 E3 Design Basis  
TÜV NORD Report Nr.: 8119224863-0 E  
Rev. 0, Datum: 21.01.2022

## **2 Prüfgrundlagen**

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windkraftanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung Oktober 2012
- [2.2] IECRE OD-501  
Richtlinie für die Typen- und Komponentenzertifizierung, Edition 2.0
- [2.3] IECRE OD-501-7  
Konformitätsbewertung und Zertifizierung von elektrischen Hauptkomponenten durch RECB, Edition 1.0

- [2.4] IEC 61400-22:2010 (DIN EN 61400-22:2011)  
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung
- [2.5] IEC 61400-1:2019 (DIN EN 61400-1:2019)  
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen  
Vierte Ausgabe 2019-02
- [2.6] IEC 60034-1:2010 (DIN EN 60034-1:2011)  
Drehende elektrische Maschinen  
Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten
- [2.7] IEC 60204-1:2016 (DIN EN 60204-1:2007)  
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -  
Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [2.8] IEC 61400-24:2010 (DIN EN 61400-24:2011)  
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.9] IEC 62305:2010 Serie (DIN EN 62305:2011)  
Blitzschutz
- [2.10] IEC 60076-1:2011 (DIN EN 60076:2012)  
Leistungstransformatoren, Teil 1: Allgemeines
- [2.11] IEC 62271-1:2007 (DIN EN 62271-1:2007)  
Hochspannungs-Schaltgeräte und –Schaltanlagen  
Teil 1: Gemeinsame Bestimmungen
- [2.12] DIN EN 62477-1:2013-04  
Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme und -be-  
triebsmittel, Teile 1: Allgemein
- [2.13] EN 61000-6-4:2018  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Stör-  
aussendung für Industriebereiche
- [2.14] EN 61000-6-2:2005  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Stör-  
festigkeit für Industriebereiche

### **3 Einleitung**

In der DIBt-Richtlinie [2.1] werden keine direkten Anforderungen an die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme die Anforderungen der OD-501 [2.2] und IEC 61400-22 / DIN EN 61400-22 [2.4] als Prüfgrundlage definiert. Nach diesen Normen müssen die elektrischen Komponenten auf die Einhaltung der Anforderungen der IECRE OD-501-7 [2.3] und IEC

61400-1 / DIN EN 61400-1 [2.5] geprüft werden. Die Anforderungen ergeben sich insbesondere aus dem Kapitel 10, "Elektrisches System", der DIN EN 61400-1.

## 4 Beschreibung der Windenergieanlage

### 4.1 Beschreibung der WEA Konfigurationen

Die Prüfung des elektrischen Systems und des Blitzschutzes berücksichtigt die folgende WEA Konfiguration:

| WEA Variante Nr. | WEA Bezeichnung | Frequenz   | Max. Nennleistung | Turm / Hubhöhe               | Rotordurchmesser / Blatt      | Klimabedingung |
|------------------|-----------------|------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1                | E-138 EP3 E3    | 50 / 60 Hz | 4.26 MW           | Stahl oder Hybrid/<br>81–160 | 138,25 m / E-138<br>EP3-RB-02 | STW            |

Table 4-1: WEA Konfiguration

Die DIN EN 61400-1 führt eine Standardluftdichte von 1,255 kg/m<sup>3</sup> auf, die bei der Evaluierung der Komponenten zu beachten ist. Die angegebene Luftdichte gibt den durchschnittlichen Wert bei 1000 m über NN Installationshöhe an. Dieser Wert wurde für die vorliegenden Prüfungen herangezogen.

### 4.2 Klimatische Bedingungen

Die WEA Konfiguration in Tabelle 4.1 sind für die folgenden Temperaturbedingungen ausgelegt:

| Temperaturversion:             | Betriebstemperatur: | Auslegungstemperatur: |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Standard Weather Edition (STW) | -10 °C bis 40 °C    | -20 °C bis 50 °C      |

Table 4-2: Temperaturbereich Standardwetter

### 4.3 Eigenschaften Elektrische Komponenten

Die wichtigsten elektrischen Komponenten und grundlegenden Eigenschaften sind:

#### 4.3.1 Generator

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| Hersteller:   | ENERCON            |
| Typ:          | synchron           |
| Bezeichnung:  | E-138 EP3 E3-GE-01 |
| WEA Variante: | 1                  |
| Nennleistung: | 4400 kVA           |

|                            |                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------|
| Spannung:                  | 4 x 2Y x 780 V AC                                    |
| Strom:                     | 530 A                                                |
| Drehzahl:                  | 0 – 13,9 min <sup>-1</sup> (11,1 min <sup>-1</sup> ) |
| Frequenz:                  | 10,5 Hz                                              |
| Isolationsklasse:          | F                                                    |
| Anzahl Pole:               | 114                                                  |
| Schutzart:                 | IP23                                                 |
| Kühlungsart:               | IC0A6                                                |
| Betriebstemperaturbereich: | -40°C bis 30°C <sup>1</sup>                          |

#### 4.3.2 Umrichter

|                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Hersteller:                     | ENERCON                       |
| Bezeichnung:                    | Leistungsschrank B2B FL       |
| Artikelnummer:                  | 778845 (778844)               |
| WEA Variante:                   | 1                             |
| Leistung (netzseitig):          | 1,3 MVA                       |
| Nennspannung (netzseitig):      | 750 V +20 %, -15 %            |
| Nennstrom (netzseitig):         | 1000 A                        |
| Nennspannung (maschinenseitig): | 0 - 800 V AC                  |
| Nennstrom (maschinenseitig):    | 1250 A                        |
| Überspannungskategorie:         | III                           |
| Frequenz:                       | 50 / 60 Hz ±3 Hz              |
| Schutzart:                      | IP00 (IP20 installiert)       |
| Betriebstemperaturbereich:      | -20 °C bis 45 °C <sup>2</sup> |

---

<sup>1</sup> Steigt die Umgebungstemperatur über 30 °C, greift ggf. die thermische Regelung des Generators. Dabei wird der Generator temperaturgeregelt weiterbetrieben, was zu einer Leistungsreduktion führen kann.

<sup>2</sup> Betrieb bis -40 °C mit reduzierter Leistung.

#### 4.3.3 Transformator

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Hersteller:                | SGB-SMIT Group       |
| Bezeichnung:               | DST 5100 H/42        |
| WEA Variante:              | 1                    |
| Typ:                       | ölgefüllt            |
| Frequenz:                  | 50 Hz                |
| Nennleistung:              | 5100 kVA             |
| Nennspannung (HV):         | 36000 V              |
| Nennspannung (LV):         | 750 V                |
| Schaltgruppe:              | Dyn5                 |
| Anzapfungen:               | $\pm 2 \times 2,5\%$ |
| Kühlung:                   | KFWF                 |
| Schutzart:                 | IP54                 |
| Betriebstemperaturbereich: | -20 °C bis 50 °C     |

#### 4.3.4 Mittelspannungsschaltanlage

|                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| Hersteller:                    | Siemens                  |
| Bezeichnung:                   | 8DJH 24kV RRL ARS i10 V6 |
| WEA Variante:                  | 1                        |
| Frequenz:                      | 50 Hz                    |
| Nennspannung:                  | 24 kV                    |
| Nennstrom (Kabelabgang):       | 630 A                    |
| Nennstrom (Leistungsschalter): | 630 A                    |
| Schutzart:                     | Tank IP65 <sup>3</sup>   |
| Isolationsmedium:              | SF <sub>6</sub>          |
| Störlichtbogenklassifikation:  | IAC AFLR 20kA 1s         |
| Betriebstemperaturbereich:     | -25 °C bis 40 °C         |

---

<sup>3</sup> Schaltgehäuse IP65, Frontabdeckung IP3X, Kabelfeld IP3X

#### 4.3.5 Pitchsystem Motor

|                            |                        |                        |
|----------------------------|------------------------|------------------------|
| Hersteller:                | Wilo                   | Bonfiglioli            |
| Typ:                       | synchron               | synchron               |
| Bezeichnung:               | M112BM1-4F40Y1-PZ55    | JB00023142             |
| WEA Variante:              | 1                      | 1                      |
| Nennleistung:              | 4,7 kW                 | 6,01 kW                |
| Ankerspannung:             | 213 V (Y)              | 320 V (Y)              |
| Nennstrom:                 | 14,8 A                 | 12,1 A                 |
| Drehzahl:                  | 1500 min <sup>-1</sup> | 2000 min <sup>-1</sup> |
| Nenndrehmoment:            | 30 Nm                  | 28,7 Nm                |
| Nennbremsmoment:           | 85 Nm                  | 100 Nm                 |
| Isolationsklasse:          | F                      | F                      |
| Schutzart:                 | IP55                   | IP55                   |
| Betriebstemperaturbereich: | -30 °C bis 60 °C       | -20 °C bis 58 °C       |

#### 4.3.6 Energiespeicher:

|                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| Typ:                       | Ultrakondensatoren |
| Hersteller:                | SECH SA            |
| Bezeichnung:               | M12S-522-0002      |
| WEA Variante:              | 1                  |
| Nennspannung (DC):         | 522 V              |
| Betriebstemperaturbereich: | -40 °C bis 65 °C   |

#### 4.3.7 Azimut Motor:

|               |                    |                    |
|---------------|--------------------|--------------------|
| Hersteller:   | Bonfiglioli        | Bonfiglioli        |
| Typ:          | 3~ A.C. Bremsmotor | 3~ A.C. Bremsmotor |
| Bezeichnung:  | JB00023132         | JB00025049         |
| WEA Variante: | 1                  | 1                  |

|                            |                        |                        |
|----------------------------|------------------------|------------------------|
| Nennleistung:              | 8,38 kW                | 8,38 kW                |
| Nennspannung:              | 420 V                  | 420 V                  |
| Nennstrom:                 | 13,1 A                 | 13,1 A                 |
| Drehzahl:                  | 2000 min <sup>-1</sup> | 2000 min <sup>-1</sup> |
| Frequenz:                  | 100 Hz                 | 100 Hz                 |
| Isolationsklasse:          | F                      | F                      |
| Schutzart:                 | IP 55                  | IP 55                  |
| Einbauart:                 | IM B5                  | IM B5                  |
| Max. Installationshöhe:    | 2000 m                 | 2000 m                 |
| Betriebstemperaturbereich: | -20 °C bis 50 °C       | -20 °C bis 50 °C       |

#### 4.3.8 Azimutumrichter:

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Hersteller:                | Siemens (Bausatz)           |
| Bezeichnung:               | SINAMICS S120 modular drive |
| WEA Variante:              | 1                           |
| Nennleistung (Ausgang):    | 9,6 kW (pro Ausgang)        |
| Nennspannung (Eingang):    | 3~ 380 – 480 V AC           |
| Nennstrom (Ausgang):       | 18 A                        |
| Frequenz (Eingang):        | 47 – 63 Hz                  |
| Betriebstemperaturbereich: | 0 °C bis 40 °C              |

#### 4.3.9 Schleifring

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| Hersteller:                | ENERCON                |
| Bezeichnung:               | EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1 |
| WEA Variante:              | 1                      |
| Anzahl der Verbindungen:   | 16 + FORJ              |
| Frequenz:                  | 13,2 min <sup>-1</sup> |
| Schutzart:                 | IP53                   |
| Betriebstemperaturbereich: | -30 °C bis 70 °C       |

#### **4.3.10 Blitzschutz**

Gefährdungspegel: LPL I

#### **4.3.11 Elektrische Netzanschlussbedingungen**

|                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| WEA Konfiguration:    | 1                            |
| Betriebsspannung:     | 24 kV und 36 kV <sup>4</sup> |
| Betriebsfrequenz:     | 50 Hz                        |
| Spannungsungleichheit | Nicht definiert              |

### **5 Durchgeführte Prüfungen**

#### **5.1 Prüfmethode**

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

#### **5.2 Anmerkungen**

- 5.2.1 Während der Inbetriebnahme und des ersten Starts der WEA sollten einige Tests durchgeführt werden. Unter anderem sollten die installierten Kabel auf Druckstellen geprüft werden. Des Weiteren sollten die Kabelbezeichnungen mindestens stichprobenartig überprüft werden. Diese Tests sind nur zwei Beispiele für Prüfungen, die durchgeführt werden sollten, bevor die WEA in den normalen Betrieb geht.
- 5.2.2 Es ist zu beachten, dass die Blitzableitung durchgängig und korrekt mit dem Erdungssystem verbunden ist. Zusätzliche Komponenten, welche nicht Teil der vorliegenden Prüfungen sind, wie z.B. Flugbefeuerung oder Eissensoren, sind korrekt in das bestehende Blitzschutzsystem zu integrieren.
- 5.2.3 Die Konformität der Erdungsanlage des Fundamentes mit den einschlägigen Standards (DIN EN 50522, bzw. DIN 18014 für das Erdungssystem einer Hochspannungsanlage) und die Berücksichtigung der lokalen Vorschriften und Bedingungen vor Ort sind durch einen Fachmann zu bestätigen.

---

<sup>4</sup> Bereich nicht definiert

- 5.2.4 Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Kabel von Nagetieren oder anderen Tieren beschädigt werden können, so müssen bewehrte Kabel oder Schutzrohre verwendet werden. ENERCON hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.
- 5.2.5 Die Erfüllung der Anforderungen der lokalen Netzbetreiber und die Einhaltung der Netzanschlusskriterien sind vom Hersteller vor der WEA-Installation zu überprüfen und nachzuweisen. Diese Nachweise sind nicht Teil der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme, sondern sind separat im Rahmen der Netzanschlussbegutachtung der Windenergieanlagen und der Windparks zu erbringen.
- 5.2.6 Die Konformitätsbescheinigung für die E-138 EP3 E3 [1.1.1] liegt nur im Entwurf vor.
- 5.2.7 Bei Installationen der E-138 EP3 E3 über 1000 m ü. NN ist zu prüfen, ob die elektrischen Komponenten die geänderten Anforderungen erfüllen.
- 5.2.8 Für eine Kalt-Wetter-Ausführung ist zu prüfen, ob die elektrischen Komponenten die geänderten Anforderungen erfüllen.

### **5.3 Prüfbemerkungen**

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

- Generator

Die E-138 EP3 E3 wird mit dem Generator E-138 EP3 E3-GE-01 des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Alle relevanten Daten zum Design werden in den Unterlagen [1.2.1] - [1.2.4] korrekt aufgeführt. Es ist ein hochpoliger Synchrongenerator. Die Funktion bei definierten Umgebungsbedingungen wird mit Hilfe von verschiedenen Temperatursensoren sichergestellt. Der Generator E-138 EP3 E3-GE-01 wurde entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 [2.6] konstruiert.

Die Abmessungen des Generators wurden vom Team für Maschinen und Antriebstechnik bewertet, daher ist in Kapitel 1 keine Generatorzeichnung aufgeführt.

ENERCON hat die Testspezifikation für die thermische Prüfung [1.2.2] des Generators vorgelegt. Verschiedene Qualitätsprüfungen werden während der Generatorfertigung durchgeführt. Nach Durchführung der Prüfung ist der vollständige Prüfbericht der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.1]. Das Datenblatt ist als Entwurfsversion gekennzeichnet. Die finale Version ist der Zertifizierungsstelle einzureichen.

- Umrichter

Die E-138 EP3 E3 ist einem 4-Q-Umrichter, Bezeichnung B2B FL STD [1.3.1] - [1.3.3] ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON konstruiert und gefertigt. Die E-138 EP3 E3 wird insgesamt mit 4 Leistungsumrichterschränken ausgerüstet. Der B2B FL STD wird gemäß den Anforderungen der IEC 62477-1 [2.12] entwickelt und getestet. Der Stator des Generators wird über einen dv/dt Filter und einen Trenner (Relais) angeschlossen.

Der Gleichspannungszwischenkreis ist mit einem Bremschopper ausgestattet. Die Netzseite wird über eine Netzinduktivität und einem Netzfilter angeschlossen [1.3.1]. Der Umrichter wird flüssigkeitsgekühlt.

Ein Typentestbericht entsprechend IEC 62477-1 wurde noch nicht von ENERCON eingereicht. Das Dokument ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen. Des Weiteren ist der Zertifizierungsstelle ein Nachweis über die Erfüllung der EMV Anforderungen einzureichen [6.2].

Der Umrichter ist konform zur Europäischen Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU. Im Datenblatt [1.3.2] wird die IEC 62477-1 als angewandte Norm aufgeführt.

- Pitch System

Jedes Rotorblatt ist mit einem Motor ausgerüstet. Dieser wird über einen Umrichter gesteuert. Im Normalbetrieb erfolgt die Spannungsversorgung des Umrichters über den Schleifring. In besonderen Fällen kann der Umrichter direkt über die Notstromversorgung der Ultrakondensatoren versorgt werden. Die Anforderungen von ENERCON sind in der Spezifikation [1.9.1] beschrieben.

Das Pitchsystem der E-138 EP3 E3 ist mit dem Motor Typ JB00023142 von Bonfiglioli [1.9.7], [1.9.8] ausgestattet. Alternativ kann der Motor M112BM1-4F40Y1-PZ55 von Wilo [1.1.59] installiert werden. Die Motoren sind permanenterregte Synchronmotoren mit integrierter Bremse und PT1000-Temperatursensoren. Der M112BM1-4F40Y1-PZ55 ist an den Pitch-Servoregler von Keba [1.9.2] angeschlossen.

Die Motoren sind konform zur EU-Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU gemäß IEC 60034-1 [2.6].

- Azimutantrieb

Die E-138 EP3 E3 ist mit 6 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet. Die Anforderungen werden in der Spezifikation [1.8.1] beschrieben. Die E-138 EP3 E3 ist mit dem Motor JB00023132 von Bonfiglioli ausgestattet [1.8.3]. In Revision 1 wurde der alternative Motor JB00025049 von Bonfiglioli aufgenommen [1.8.7]. Der Motor ist korrekt in [1.8.7] beschrieben. Die Auslegung erfolgt gemäß der technischen Spezifikation von Enercon [1.8.5]. Es handelt sich um Drei-Phasen-Synchron-Motoren, in denen eine Bremse und ein Temperaturfühler PT1000 montiert sind.

Die Anforderungen der IEC 60034-1 werden von beiden Motoren erfüllt [1.8.4], [1.8.8].

Die Azimutmotoren werden von einem Umrichter versorgt und gesteuert. Dieser Umrichter besteht aus einem modularen System der Serie SINAMICS S120 von Siemens. Das verwendete System besteht aus einer Stromversorgung "CPU 1504D TF", einem Spannungsmessmodul "VSM10", einem aktiven Schnittstellenmodul "AIM 80kw", einem aktiven Leitungsmodul "ALM 80kw", einem Bremsmodul und drei Motormodulen "DNONO 18A". Die Motormodule haben jeweils 2 Ausgangskarten für 9,6 kW. Das System wird in

den Datenblättern [1.8.13] - [1.8.19] korrekt beschrieben. Darüber hinaus sind die Systemkomponenten in den Schaltplänen [1.12.1] und [1.12.2] nachvollziehbar dargestellt.

- Schleifring

Die WEA E-138 EP3 E3 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem, Bezeichnung EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1 ausgerüstet. Die Anforderungen werden in der Spezifikation [1.7.3] beschrieben. Im Schaltplan [1.7.1] sind die Verbindungen der Schleifringe korrekt dargestellt.

- Transformator

Der Transformator ist in dem E-Modul im Maschinenhaus installiert. In den WEA E-138 EP3 E3 werden flüssigkeitsgefüllte (synthetisches Ester) Transformatoren eingesetzt. Die Anforderungen, wie Schutz gegen Kurzschluss, Temperatur-, Druck- oder Füllstandsüberwachung werden in der ENERCON eigenen Spezifikation [1.4.1] beschrieben.

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

Die WEA E-138 EP3 E3 wird mit einem Transformator, Bezeichnung DST 5100 H/42 von SGB-SMIT Group ausgerüstet. Der Transformator wurde gemäß IEC 60076 entwickelt und geprüft.

Die Konformitätserklärung des Transformators ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.3.].

- Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage ist im Turmfuß installiert. Die Schaltanlage wird abhängig von den projektspezifischen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifische Anpassung der Schaltanlage wird im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils eine Schaltanlage je Hersteller exemplarisch und stellvertretend geprüft und aufgeführt. Die Schaltanlage muss zum einen die unter [1.5.1] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie zum anderen die relevanten Teile der IEC 62271 [2.11] erfüllen.

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

Die E-138 EP3 E3 ist mit einer SF6-gefüllten Schaltanlage, Bezeichnung 8DJH 24kV RRL ARS [1.5.2] von Siemens ausgestattet. Die Schaltanlage ist nach IEC 62271-1 [2.11] ausgelegt. Die Typprüfung der Schaltanlage wurde nach IEC 62271-200 [1.5.4] durchgeführt.

Die Anforderungen der ENERCON-Spezifikationen [1.3.1] bezüglich des Betriebstemperaturbereichs werden nicht erfüllt. Es ist der Zertifizierungsstelle eine Bestätigung der Eignung der Mittelspannungsschaltanlage [6.4] vorzulegen.

- **Schaltpläne**

Die Schaltpläne [1.12.2] und [1.12.3] und zugehörigen Stücklisten wurden von uns stichprobenartig überprüft. Diese Überprüfung unter Berücksichtigung der Forderungen der IEC 60364 ergab keine Auffälligkeiten. So entsprechen z. B. die Dimensionierungen der Sicherungen den normativen Forderungen. Gegen die Installationen der Schutz- und Trenneinrichtungen gemäß den vorgelegten Schaltplänen haben wir keine Einwände.

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

### **5.3.2 Back-up Spannungsversorgungssystem**

Jedes Blatt ist mit einem Back-up Spannungsversorgungssystem ausgerüstet. Diese Systeme bestehen aus M12S-522-0002 Kondensatoren, die von SECH SA [1.10.2] entwickelt und hergestellt werden. Der Kondensator ist für einen Betriebstemperaturbereich von -40 °C bis 65 °C ausgelegt.

Die Spannung der Kondensatoren wird permanent überwacht. Die Ladung der Module erfolgt durch das im Blattregelschrank installierte „capacitor-charging module“. Dieses Modul wird von ENERCON entwickelt.

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

### **5.3.3 Elektrische Leiter**

Die Auslegung der Turmkabelanlage ist in vier Hauptabschnitte unterteilt. Es werden die Kupferkabel WINDFLEX GLOBAL (S-3GDSHOEU) von Prysmian [1.11.1] mit den Querschnitten von 1x185 mm<sup>2</sup> und 1x400 mm<sup>2</sup> verwendet. Die Berechnung der Stromtragfähigkeit ist ausreichend in [1.11.5] dargestellt.

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

### **5.3.4 Schutz- und Trenneinrichtungen**

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

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

### **5.3.5 Blitzschutz- und Erdungssystem**

In der DIN EN 61400-1 [2.5] sind der Blitzschutz und das Erdungssystem in getrennten Kapiteln aufgeführt. In dieser Stellungnahme fassen wir beide Punkte zusammen, weil zum einen die Anforderungen auf den gleichen Normen basieren und zum anderen der Schutz gegen Blitzeinschläge und der Effekt der Blitzeinschläge als ein gemeinsames Problem zu betrachten sind.

Die DIN EN 61400-1 fordert ein Blitzschutzsystem entsprechend der IEC 62305 [2.9]. Außerdem ist für WEA die IEC 61400-24 [2.8] zu beachten.

Das Blitzschutzsystem der ENERCON E-138 EP3 E3 ist für den Gefährdungspegel LPL I ausgelegt [1.6.1]. Dies ist das höchstmögliche Schutzlevel. Die Festlegung der verschiedenen Blitzschutzzonen sowie auch der Potentialausgleich sind ebenfalls in diesem Dokument beschrieben.

Die technischen Anforderungen sind die gleichen wie in vorangegangenen Zeichnungen, so dass die Betrachtung der Ähnlichkeit zeigt, dass die Ergebnisse ebenfalls für das Erdungssystem der E-138 EP3 E3 angewendet werden können.

Die E-138 EP3 E3 wird mit E-138 EP3-RB-02 Rotorblättern des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Das Design des Blattes und des Blitzschutzsystems basiert auf anderen ENERCON Rotorblättern [1.6.10]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems wurde entsprechend den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV SÜD geprüft und mit Hilfe des vergleichbaren Rotorblattes E-103 EP2-RB-01 nachgewiesen. Die Betrachtung zur Ähnlichkeit der beiden vorgenannten Blätter beschreibt auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse zum Blitzschutzsystem vom Blatt E-103 EP2-RB-01 auf das Blatt E-138 EP3-RB-02.

Die Anforderungen der DIN EN 61400-1 werden vom Blitzschutzsystem der WEA E-138 EP3 E3 erfüllt.

### **5.3.6 Selbsterregung**

Die E-138 EP3 E3 ist mit einem direkt gekoppelten Synchrongenerator ausgestattet. Der Generator wird elektrisch erregt, wodurch er sich nicht selbsterregen kann. Des Weiteren ist die WEA mit einem Vollumrichtersystem ausgestattet. Dieses ermöglicht die Trennung der Generatorverbindung. Daher sind die diesbezüglichen Anforderungen der Norm 61400-1 als erfüllt anzusehen.

### **5.3.7 Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit**

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

Die Vermessung der Netzverträglichkeit der WEA gemäß den Forderungen der IEC 61400-21 ist in der DIN EN 61400-22 als optional aufgeführt.

Messungen zu den relevanten EMV-Standards werden von ENERCON am Prototyp der E-138 EP3 E3 durchgeführt. Die Messergebnisse sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.5]. Für eine vorläufige Prüfung wurden Risikobeurteilungen nach der EMV-Richtlinie 2014/30/EU für die relevanten Komponenten eingereicht [1.13.1] - [1.13.14].

### **5.3.8 Kalt-Wetter-Ausführung**

Die E-138 EP3 E3 kann auch als Kalt-Wetter-Ausführung ausgerüstet werden. Die Anpassungen für diese Variante sind in [1.14.2] beschrieben. Für eine Kalt-Wetter-Ausführung ist zu prüfen, ob die elektrischen Komponenten die geänderten Anforderungen erfüllen. Die Prüfung hinsichtlich der Kalt-Wetter-Tauglichkeit wurde im Rahmen des vorliegenden Gutachtens nicht durchgeführt.

### **5.3.9 Weitere Anmerkungen**

DIN EN 61400-1 [2.5] verlangt eine Isolationskoordinationsstudie. Diese wurde von ENERCON nicht vorgelegt. Das Dokument ist bei der Zertifizierungsstelle [6.6] einzureichen.

## **5.4 Schnittstellen**

Die Sicherheitskette ist in Dokument [1.14.3] beschrieben. Die Sensoren und Aktoren der Sicherheitskette sind in den WEA Schaltplänen korrekt dargestellt.

Jeder Leistungsschrank ist mit einem Brems-Chopper ausgestattet. Jeder Brems-Chopper kann eine Leistung von 1,1 MW pro Sekunde bei einer maximalen Betriebszeit von 3,5 Sekunden aufnehmen.

## **6 Auflagen**

Die nachfolgenden Auflagen sind vor Errichtung des Prototyps zu klären:

- 6.1 Nach Durchführung der Qualitätsprüfungen während der Generatorfertigung ist der vollständige Prüfbericht der Zertifizierungsstelle vorzulegen.
- 6.2 Die Testberichte für den Umrichter sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen. Des Weiteren ist ein Nachweis über die Erfüllung der EMV Anforderungen einzureichen.

- 6.3 Die Konformitätserklärung des Transformators ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen.
- 6.4 Der Zertifizierungsstelle ist eine Bestätigung der Eignung der Mittelspannungsschaltanlage hinsichtlich des Betriebstemperaturbereichs vorzulegen.
- 6.5 Die Nachweise über die Einhaltung der EMV-Anforderungen sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen.
- 6.6 Die Isolationskoordinationsstudie ist der Zertifizierungsstelle vorzulegen.

## 7 Schlussfolgerung

Wenn die im Kapitel 6 aufgeführten Auflagen berücksichtigt werden, entspricht das elektrische System der ENERCON E-138 EP3 E3 den Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit auch die Anforderungen der DIBt.

Die Auflagen sind nicht als sicherheitsrelevant einzustufen.

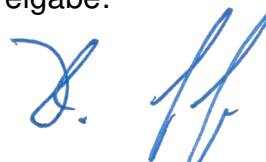
Durch Modifikationen am elektrischen System, die nicht angezeigt werden, verliert diese Stellungnahme ihre Gültigkeit. Damit diese Stellungnahme gültig bleibt, sollten Änderungen der Zertifizierungsstelle Windenergie mitgeteilt und zur Prüfung vorgelegt werden.

Sachverständige:



M. Eng. Jana Dumke

Freigabe:



M. Sc. Holger Grafe

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

## **Gutachtliche Stellungnahme**

**Windenergieanlage E-138 EP3 E2 und E-138 EP3 E3,  
unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen**

**- Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 -**

|                                |                                                                                                        |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TÜV NORD Bericht-Nr.:</b>   | 8117142915-3 D, Rev. 7                                                                                 |
| <b>Gegenstand der Prüfung:</b> | Konstruktion und statischer Blatttest für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, mit Lasten nach DIBt (2012). |
| <b>Anlagenhersteller:</b>      | ENERCON GmbH<br>Dreekamp 5<br>26605 Aurich<br>Deutschland                                              |
| <b>Dokumentation:</b>          | ENERCON GmbH<br>Dreekamp 5<br>26605 Aurich<br>Deutschland                                              |
| <b>Besondere Hinweise:</b>     | Die Lasten der Konfiguration 5 sind aktuell nicht geprüft!                                             |

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 16 Seiten.

## Revisionstabelle

| Revision | Datum      | Änderungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Sachverständiger     |
|----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 0        | 26.11.2019 | Erste Revision                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Dipl.-Ing. M. Passow |
| 1        | 16.12.2019 | Anlagenkonfiguration 8 hinzugefügt, Dokumente hinzugefügt: [1.2.3], [1.2.4]; Dokument aktualisiert: [1.2.2]; Kapitel aktualisiert: 3, 4.2, 4.3 und 5.3                                                                                                                                                                                 | Dipl.-Ing. M. Passow |
| 2        | 24.11.2020 | Anlagenkonfigurationen 9 und 10 hinzugefügt; Dokumente hinzugefügt: [1.1.4]; Dokumente aktualisiert: [1.1.14], [1.2.1], [1.2.2] und [1.2.13]                                                                                                                                                                                           | Dipl.-Ing. M. Passow |
| 3        | 17.12.2020 | Zusätzlicher statischer Blattest mit aufgenommen; Dokument [1.2.16] hinzugefügt; Dokument [1.2.18] aktualisiert.                                                                                                                                                                                                                       | Dipl.-Ing. M. Bätge  |
| 4        | 26.03.2021 | Ausrüstung mit Gurney-Flaps [1.2.21] hinzugefügt; Dokumente [1.2.2], [1.2.7] und [1.2.8] aktualisiert                                                                                                                                                                                                                                  | Dipl.-Ing. M. Bätge  |
| 5        | 09.03.2022 | E3 Konfigurationen 11 und 12 aufgenommen; Konstruktionsänderungen; Zusätzlicher statischer Test hinzugefügt; Dokumente [1.1.1] - [1.1.3], [1.1.6] - [1.1.12], [1.1.14] - [1.1.18], [1.2.4], [1.2.16] und [1.2.18] - [1.2.21] aktualisiert; Dokumente [1.1.13], [1.2.5], [1.2.6], [1.2.9] - [1.2.12], [1.2.14] und [1.2.17] hinzugefügt | Dipl.-Ing. M. Bätge  |
| 6        | 11.10.2022 | Dokument [1.2.6] aktualisiert                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Dipl.-Ing. M. Bätge  |
| 7        | 20.12.2022 | Konfiguration 13 aufgenommen; Dokument [1.1.5] hinzugefügt; Dokument [1.2.6] aktualisiert                                                                                                                                                                                                                                              | Dipl.-Ing. M. Bätge  |

## Inhaltsverzeichnis

|     |                                            |    |
|-----|--------------------------------------------|----|
| 1   | Dokumente .....                            | 4  |
| 1.1 | Geprüfte Dokumente .....                   | 4  |
| 1.2 | Dazugehörige Dokumente.....                | 5  |
| 2   | Prüfgrundlagen .....                       | 8  |
| 3   | Einleitung .....                           | 8  |
| 4   | Beschreibung der Komponente .....          | 8  |
| 4.1 | Klimatische Bedingungen.....               | 8  |
| 4.2 | Beschreibung der Komponentenparameter..... | 9  |
| 4.3 | Designlasten .....                         | 10 |
| 4.4 | Materialien.....                           | 11 |
| 5   | Durchgeführte Prüfung.....                 | 11 |
| 5.1 | Prüfmethode.....                           | 11 |
| 5.2 | Anmerkungen .....                          | 12 |
| 5.3 | Ergebnisse .....                           | 13 |
| 5.4 | Schnittstellen .....                       | 14 |
| 6   | Auflagen.....                              | 14 |
| 7   | Schlussfolgerung .....                     | 16 |

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

- [1.1.1] Nachweis Rotorblatt, "E-138 EP3-RB-02 rotor blade certification report of E-138 EP3 E2 and E-138 EP3 EP3 E3 Wind Energy Converter, Static and Fatigue Calculation"  
Dokument-Nr.: D0846761-1, Rev. 1, Datum: 01.11.2021
- [1.1.2] "Nachweis Rotorblatt, Anhang: Sicherheitsparameter & Berechnungsformeln"  
Dokument-Nr.: D0169858-1a, Rev. 1a, Datum: 20.12.2017
- [1.1.3] "Nachweis zur Zertifizierung, Verbindung Blattanschluss E-138 EP3-RB-02 der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit, für Lasten nach: IEC 3: WK IIIa, WK S, DiBt 2012: WZ 2, GK II"  
Dokument-Nr.: D0846528-2.0, Rev. 2.0, Datum: 17.12.2021
- [1.1.4] Lastvergleich mit Extrem- und Betriebslastuntersuchungen, "Verification Report, E-138 EP3-RB-02 with towers E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01, E-138 EP3 E2 HST-131-FB-C-01, E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 & 02, Static and fatigue verification Load comparison LS12 (11/2019) and LS12 (06/2020)"  
Dokument-Nr.: D0986706-0, Rev. 0, Datum: 31.07.2020
- [1.1.5] Lastvergleich mit Extremlastuntersuchung, "Berechnung\_Load\_Comparison\_E-138\_EP3\_E3-HT-160-ES-C-01\_FMEA"  
Dokument-Nr.: D02799284-0.1, Rev. 0.1, Datum: 15.12.2022  
Prüfsumme (Sha256):  
A51C51C137415A3A4A60D79B3B89751344B6FADB18EDDCC6341942A8BFA52124

### Zeichnungen

- [1.1.6] "Rotorblatt, Maßblatt"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.110.10000, Rev. 02, Datum: 14.10.2021
- [1.1.7] Hauptzeichnung, "Rotorblatt, Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.110.10001, Rev. 3.1, Datum: 23.09.2021
- [1.1.8] "Blattanschluss, Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.180.10001, Rev. 10, Datum: 15.03.2021
- [1.1.9] "Blattanschluss, Dehnbolzen DIN976 M42-6g 503x35"  
Zeichnungs-Nr.: R1382.180.10002, Rev. 01, Datum: 24.03.2021
- [1.1.10] "Vortexgenerator, Zusammenbau Saugseite"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10002, Rev. 02, Datum: 14.11.2019
- [1.1.11] "Hinterkantenkamm, Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10003, Rev. 02, Datum: 13.09.2021

[1.1.12] "Blattspitze, Zusätzliche Befestigung"  
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10000, Rev. 02, Datum: 02.07.2021

[1.1.13] Für E-138 EP3 E3, "Hinterkantenkamm Zusammenbau"  
Zeichnungs-Nr.: D02427383-0.0, Rev. 0.0, Datum: 19.08.2021

#### Liste eingereichter Unterlagen

[1.1.14] "Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 Unterlagen zur Zertifizierung"  
Dokument-Nr.: D0852805-17, Rev. 17, übersendet: 18.01.2022

#### Materialtests und Spezifikationen

[1.1.15] "Spezifikation, Materialkennwerte für die Rotorblattauslegung  
E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0815252-3.0, Rev. 3.0, Datum: 05.10.2021

#### Handbücher und Spezifikationen

[1.1.16] "Spezifikation, E-138 EP3-RB-02 rotor blade"  
Dokument-Nr.: D0848658-2.0, Rev. 2.0, Datum: 03.01.2022

[1.1.17] "Technical specification, Manufacturing tolerances and minimum values for the  
rotor blade E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0747741-2.1, Rev. 2.1, Datum: 01.11.2021

[1.1.18] "Specification, Aerodynamics-related manufacturing tolerances for the E-138  
EP3-RB-02 rotor blade"  
Dokument-Nr.: D0827750-1, Rev. 1, Datum: 07.07.2021

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Auslegungslasten

[1.2.1] "Lastenbericht, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Abdeckende Lasten für das  
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 E2 nach DIBt  
und IEC"  
Dokument-Nr.: D0834228-1d, Rev. 1d, Datum: 13.11.2020

[1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138  
EP3-RB-02, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II - Lastannahmen für Rotorblatt  
und Maschinenbau -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-1 D VI, Rev. 3, Datum: 25.03.2021

- [1.2.3] Stellungnahme für den Vergleich der Turmeigenfrequenzen zwischen E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, "Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Frequenzvergleich"  
Dokument-Nr.: D0871819-1a, Rev. 1a, Datum: 07.11.2019
  
- [1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01 und E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, "Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138 EP3-RB-02, NH 149 m (E-138 E2-HT-149-ES-C-01 und E- 138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02), DIBt WZ 2, GK II - Lastannahmen für Turm und Fundament -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-1 D II, Rev. 3, Datum: 25.08.2020
  
- [1.2.5] "Lastenbericht, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, Abdeckende Lasten für das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 mit dem Maschinenbau E-138 EP3 E3 nach DIBt und IEC"  
Dokument-Nr.: D02399482/0.5, Rev. 0.5, Datum: 20.01.2022
  
- [1.2.6] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, Diverse NH, DIBt WZ S, GK S, - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119224863-1 D III, Rev. 2, Datum: 19.12.2022

#### Design Basis

- [1.2.7] "Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2"  
Dokument-Nr.: D0765798-3.0, Rev. 3.0, Datum: 05.02.2021
  
- [1.2.8] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report, Wind Turbine Platform ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE OD 501, IEC 61400-22 - Design Basis -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-0 E, Rev.1, Datum: 16.02.2021
  
- [1.2.9] "Design Base, E-138 EP3 E3"  
Dokument-Nr.: D02294156, Rev. 3.2, Datum: 21.01.2022
  
- [1.2.10] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report, Wind Turbine Platform ENERCON E-138 EP3 E3, IECRE OD 501, - Design Basis -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8119224863-0 E, Rev.0, Datum: 21.01.2022
  
- [1.2.11] Cold climate design basis, "Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen"  
Dokument-Nr.: D0666243-5, Rev. 5, Datum: 21.10.2022

- [1.2.12] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report, div. ENERCON Wind Turbines, - Design Basis for Cold  
Climate conditions -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115599054-0 E, Rev.1, Datum: 26.10.2022

#### Statischer Rotorblatttest

- [1.2.13] "Spezifikation statische und dynamische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0842787-6, Rev. 6, Datum: 29.10.2020
- [1.2.14] Test specification, "Specification for Static Rotor Blade Test E-138 EP3 E3 with  
E-138 EP3-RB-02 EVC0003"  
Dokument-Nr.: D02388617/2.2-en, Rev. 2, Datum: 08.09.2021
- [1.2.15] "Auswertung - Statische Rotorblatttests E-138 EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D0889232-0, Rev. 0, Datum: 15.11.2019
- [1.2.16] Auswertung Rotorblatttests, "Evaluation Full Scale Rotor Blade Test E-138  
EP3-RB-02"  
Dokument-Nr.: D1009232-1.1, Rev. 1.1, Datum: 02.12.2020
- [1.2.17] Auswertung statischer Rotorblatttest, "Evaluation of Static Rotor Blade Test  
E-138 EP3 E3 with E-138 EP3-RB-02 EVC0003"  
Dokument-Nr.: D02388621/0.2-en, Rev. 0, Datum 01.11.2021
- [1.2.18] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Evaluation Report Full-scale rotor blade tests -Rotor Blade E-138 EP3-RB-02-"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117142915-3t E, Rev. 2, Datum: 15.02.2022

#### Zeichnungen

- [1.2.19] IMO GmbH & Co. KG:  
Blattlagerzeichnung, "12874 Rollen-DV, 3-reihig"  
Zeichnungs-Nr.: 32-362998/4-12874, Rev. C, Datum: 26.02.2020  
ENERCON-Dokument-Nr.: D0733727-6a, Rev. 6a, Datum: 26.02.2020
- [1.2.20] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Blattlagerzeichnung, "Rollendrehverbindung"  
Zeichnungs-Nr.: ROD02994-032DJ18-001-000, Rev. 15, Datum: 16.06.2020  
ENERCON-Dokument-Nr.: D0812815-6, Rev. 6, Datum: 16.06.2020

#### Gurney-Flaps

- [1.2.21] TÜV NORD CERT GmbH:  
"Gutachtliche Stellungnahme für die Prüfung der Gurney-Flaps,  
- Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 -"  
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8118962526-3 D, Rev. 1, Datum: 09.03.2022

## **2 Prüfgrundlagen**

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

### Anerkannte Regelwerke

- [2.2] International Standard IEC 61400-22:  
"Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification"  
Edition 1.0, 2010-05
- [2.3] International Standard IEC 61400-1:  
"Wind turbines - Part 1: Design requirements"  
3rd edition, 2005-08 und Amendment 1, 2010-10
- [2.4] International Standard IEC 61400-1:  
"Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements"  
Edition 4.0, 2019-02
- [2.5] International Standard IEC 61400-23:  
"Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades"  
Edition 1.0, 2014-04
- [2.6] Germanischer Lloyd:  
"Rules and Guidelines, IV - Industrial Services, Part 1 -Guideline for the  
Certification of Wind Turbines"  
Edition 2010

## **3 Einleitung**

Dieses Dokument beschreibt die Prozedur und die Ergebnisse der Nachweisführung des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02 für die Windenergieanlagen E-138 EP3 E2 und E-138 EP3 E3 nach DIBt 2012 Standard mit Anlehnung an IEC 61400-22 in Kombination mit IEC 61400-1 (ed.3, 2005 und Amendment 2010).

In der vorliegenden Revision 7 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurde die Konfiguration 13 aufgenommen.

## **4 Beschreibung der Komponente**

### **4.1 Klimatische Bedingungen**

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

## 4.2 Beschreibung der Komponentenparameter

Das Rotorblatt besteht aus glasfaserverstärktem Epoxy Kunststoff, der als Sandwich Konstruktion realisiert wird. Der Holmgurt besteht aus glasfaserverstärktem Epoxidmaterial. Für das Kernmaterial wird Balsaholz und PET-Schaum verwendet. Zusätzlich verfügt das Rotorblatt über zwei Hauptstege, die zusammen mit den UD Glasfaser-Gurten der oberen und unteren Schale einen Kastenträger ergeben. Das Rotorblatt wird mit Hilfe des Vakuum-Infusionsverfahren produziert. Für die Herstellung der Preformteile der Blattwurzel sind die beiden verschiedenen Varianten, gewickelt oder gelegt, abgedeckt.

Die Verbindung vom Rotorblattfuß zum Rotorblattflansch erfolgt über 59 T-Bolzen. Jeder T-Bolzen ist mit einem M42-Dehnbolzen vorgespannt.

Die folgenden Varianten des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02 wurden bewertet. Die Ausstattung der verschiedenen Varianten ist nachfolgend dargestellt:

| RB Nr. | Vortexgenerator (VGs) | Hinterkantenkamm (Serration) | Gurney-Flaps | Blattspitze | Blattbolzen |
|--------|-----------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| 1      | [1.1.10]              | [1.1.11]                     | -            | [1.1.12]    | [1.1.9]     |
| 2      | [1.1.10]              | [1.1.11]                     | [1.2.21]     | [1.1.12]    | [1.1.9]     |
| 3      | [1.1.10]              | [1.1.13]                     | [1.2.21]     | [1.1.12]    | [1.1.9]     |

Tabelle 4-1: Geprüfte Rotorblattvarianten

Nach [1.1.1] und [1.1.17] hat das Rotorblatt die folgenden Eigenschaften:

|                                               |                       |
|-----------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:           | 0,510 Hz              |
| 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung:          | 0,801 Hz              |
| Blattlänge:                                   | 67,5 m                |
| Blattmasse: (inkl. Bolzen, ohne Heizung)      | 20210 kg $\pm$ 3,5%   |
| (inkl. Bolzen, mit Heizung)                   | 20500 kg $\pm$ 3,5%   |
| Schwerpunkt: (Nabenmitte, ohne Heizung)       | 20,907 m              |
| (Nabenmitte, mit Heizung)                     | 20,715 m              |
| Statisches Moment: (Nabenmitte, ohne Heizung) | 422530 kgm $\pm$ 3,5% |
| (Nabenmitte, mit Heizung)                     | 424660 kgm $\pm$ 3,5% |
| Auslegungszeit:                               | 25 Jahre              |

Das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 ist für den Betrieb an verschiedenen Konfigurationen vorgesehen:

| Nr. | WEA                         | Geprüfte Blattvariante | Windklasse     | Gelände-klasse | Geprüft mit                           |
|-----|-----------------------------|------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
| 1   | E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-01  | 1, 2                   | DIBt (2012): 2 | DIBt (2012): 2 | Struktur-nachweis [1.1.1] und [1.1.3] |
| 2   | E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01 |                        |                |                |                                       |
| 3   | E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01 |                        |                |                |                                       |
| 4   | E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02 |                        |                |                |                                       |

| Nr. | WEA                          | Geprüfte<br>Blattvariante | Windklasse | Gelände-<br>klasse | Geprüft<br>mit           |  |
|-----|------------------------------|---------------------------|------------|--------------------|--------------------------|--|
| 5   | E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-01  |                           |            |                    |                          |  |
| 6   | E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01  |                           |            |                    |                          |  |
| 7   | E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01  |                           |            |                    |                          |  |
| 8   | E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02  |                           |            |                    |                          |  |
| 9   | E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01   |                           |            |                    |                          |  |
| 10  | E-138 EP3 E2 HST-131-FB-C-01 |                           |            |                    |                          |  |
| 11  | E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 | 3                         |            |                    |                          |  |
| 12  | E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01 |                           |            |                    |                          |  |
| 13  | E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01  |                           |            |                    |                          |  |
|     |                              |                           |            |                    | Lastvergleich<br>[1.1.5] |  |

Table 4-2: Abgedeckte Konfigurationen

### 4.3 Designlasten

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

Die Lastannahmen sind in nach der folgenden Tabelle spezifiziert:

| Nr. | WEA                          | Frequenz   | Nenn-leistung | Nabenhöhe | Spezifiziert in  | Geprüft in    |
|-----|------------------------------|------------|---------------|-----------|------------------|---------------|
| 1   | E-138 EP3 E2-ST-81-FB-C-01   | 50 / 60 Hz | 4,2 MW        | 81 m      | [1.2.1]          | [1.2.2]       |
| 2   | E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01  |            |               | 111 m     |                  |               |
| 3   | E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01  |            |               | 131 m     |                  |               |
| 4   | E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02  |            |               | 131 m     |                  |               |
| 5   | E-138 EP3 E2-HT-131-ES-C-01  |            |               | 131 m     |                  | Nicht geprüft |
| 6   | E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01  |            |               | 149 m     |                  | [1.2.2]       |
| 7   | E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01  |            |               | 160 m     |                  |               |
| 8   | E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02  |            |               | 149 m     |                  |               |
| 9   | E-138 EP3 E2-ST-96-FB-C-01   |            |               | 96 m      |                  |               |
| 10  | E-138 EP3 E2 HST-131-FB-C-01 |            |               | 131 m     |                  |               |
| 11  | E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 |            |               | 111 m     | [1.2.5]          | [1.2.6]       |
| 12  | E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01 |            |               | 131 m     |                  |               |
| 13  | E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01  |            |               | 160 m     | [1.2.5], [1.1.5] | [1.2.6]       |

Table 4-3: Lastannahmen

Die Lastannahmen für Konfiguration 1 - 10 wurden entsprechend [1.2.1] und [1.2.2] nach IEC 61400-1 (ed.3) [2.3] definiert und geprüft. Es wurden die folgenden Eigenschaften für das Rotorblatt angenommen:

|                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: | 0,511 Hz                   |
| 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung | 0,817 Hz                   |
| Blattmasse:                         | 20257 kg (inkl. Schrauben) |
| Schwerpunkt (Blattwurzel):          | 19,32 m                    |
| Statisches Moment (Blattwurzel):    | 391410 kgm                 |

Die Lastannahmen für Konfiguration 11 - 13 wurden entsprechend [1.2.5] und [1.2.6] nach IEC 61400-1 (ed.4) [2.4] definiert und geprüft. Es wurden die folgenden Eigenschaften für das Rotorblatt angenommen:

|                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung: | 0,515 Hz                   |
| 1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung | 0,824 Hz                   |
| Blattmasse:                         | 20213 kg (inkl. Schrauben) |
| Schwerpunkt (Blattwurzel):          | 19,19 m                    |
| Statisches Moment (Blattwurzel):    | 387935 kgm                 |

Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 25 Jahren. Die speziellen Annahmen für die Lastberechnung für die verschiedenen Konfigurationen können den entsprechenden Prüfberichten entnommen werden.

Sonderereignisse, verursacht durch den Transport, Montage und Errichtung, sind nicht berücksichtigt worden.

#### **4.4 Materialien**

Das Rotorblatt wurde mit Materialannahmen für das Laminat, den Kernwerkstoff und den Kleber nach [1.1.15] nachgewiesen. Die metallischen Komponenten der Blattwurzelverbindung sind in [1.1.3] definiert.

## **5 Durchgeführte Prüfung**

### **5.1 Prüfmethode**

Die Design Basis Dokumente [1.2.7] und [1.2.9] wurden in [1.2.8] und [1.2.10] nach IEC 61400-22 [2.1] geprüft.

Der Nachweis beinhaltet die strukturelle Bewertung des Rotorblattes und des Rotorblattanschlusses (inkl. Verschraubung zum Blattlager). Darüber hinaus wurden die Eigenfrequenzen, die Masse und der Schwerpunkt des Blattes abgeprüft. Die Dokumente [1.1.1] bis [1.1.18] wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität auf Basis der Anforderungen gemäß [2.1] und [2.2] geprüft.

Für die Bewertung des Rotorblattes wurde ein eigenständiges Finite-Elemente-Modell aufbauend auf den Zeichnungen und Materialdaten, gemäß [1.1.6] und [1.1.7] sowie den in [1.1.14] und [1.1.15] referenzierten Dokumenten, erstellt, mit dessen Hilfe die Festigkeit des Rotorblattes nachgewiesen wurde.

Für den Nachweis des Blattanschlusses wurde ein separates Finite-Elemente-Modell erzeugt, basierend auf der Zeichnung [1.1.8]. Die Annahmen zum Blattlager können [1.2.19] und [1.2.20] entnommen werden.

Die Rotorblattschale inklusive Verschraubung zum Blattlager wurden ursprünglich mit Auslegungslasten nach [1.2.1] nachgewiesen. Die Nachweise wurden für die maßgebenden Lastfälle geführt.

Die Auswertung umfasst die strukturelle Analyse des Hinterkantenkamms und der Vortexgeneratoren nach [1.1.1].

Das Rotorblattheizsystem [1.1.14] wurde auf Plausibilität geprüft.

Um die Ergebnisse der Festigkeitsrechnung abzugleichen wurde ein statischer Blatttest, entsprechend [1.2.13], [1.2.15] und [1.2.16], durchgeführt.

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

Der strukturelle Nachweis der Gurney-Flaps ist in [1.2.21] geprüft.

## Revision 5

Die Nachweise [1.1.1] und [1.1.3] wurden in Bezug auf die Konstruktionsanpassungen aktualisiert. Auch die zusätzlichen E3 Auslegungslasten [1.2.5] sind in diesen Berechnungen berücksichtigt.

Die Vergleichsrechnung zur Prüfung dieser Nachweise wurde als Lastvergleich zu den initialen Auslegungslasten geführt, kombiniert mit einer Bewertung der Konstruktionsanpassungen.

Ein zusätzlicher statischer Blatttest [1.2.17] zur Abdeckung der zusätzlichen Auslegungslasten wurde durchgeführt und in [1.2.18] geprüft.

## **5.2 Anmerkungen**

Der extreme Temperaturbereich nach Kapitel 4.1 wurde für die Bewertung der Materialeigenschaften [1.1.15] herangezogen.

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

Von den in [1.1.14] aufgeführten Dokumenten wurden nur die strukturelevanten Dokumente geprüft und somit nur deren Gültigkeit bestätigt.

Gemäß der Gutachtlichen Stellungnahme Lasten [1.2.2] decken die Lastannahmen [1.2.1] sowohl die Rotorblattvariante 1, als auch die Rotorblattvariante 2 (mit Gurney Flaps) ab.

### **5.3 Ergebnisse**

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

Der statische Blatttest nach [1.2.13], geprüft in [1.2.18] nach IEC 61400-23 [2.5], erfüllt somit auch die Anforderungen nach GL 2010 [2.6].

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

#### Revision 1

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

#### Revision 2

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

#### Revision 3

Die Aufnahme der Auswertung des zusätzlich durchgeführten statischen Tests nach [1.2.16], bewertet in [1.2.18], führt zu keinen neuen Prüfanforderungen. Alle bisherigen Prüfergebnisse bleiben somit weiterhin gültig.

#### Revision 4

Der strukturelle Nachweis der Gurney-Flaps ist in [1.2.21] geprüft.

## Revision 5

Der Strukturnachweise [1.1.1] und [1.1.3] wurden auf Plausibilität geprüft. Die eingeführten Konstruktionsanpassungen werden als konservativ oder vernachlässigbar für die Tragfähigkeit des Blattes bewertet. Ein Lastvergleich der E3 Auslegungslasten [1.2.5] zu den ursprünglichen Auslegungslasten [1.2.1] zeigt, dass die neuen Extremlasten teilweise Überschreitungen aufweisen, die Ermüdungslasten jedoch geringer sind. Überschreitungen der Extremlasten sind durch entsprechende Restsicherheiten, dokumentiert in Revision 0 von [1.1.1] und Revision 0a von [1.1.3], ausreichend abgedeckt. Die Tragfähigkeit des Rotorblattes E-138 EP3-RB-02 für die Lasten von Konfiguration 11 und 12 kann damit bestätigt werden.

Gemäß [1.2.18] erfüllt der zusätzliche Blatttest [1.2.17] für die E3 Auslegungslasten [1.2.5] die Anforderungen der IEC 61400-23 [2.5].

## Revision 6

Für diese Revision gibt es keine neuen Prüfergebnisse.

## Revision 7

Gemäß der Prüfung in [1.2.6] sind die Betriebslasten von Konfiguration 13 von den Auslegungslasten [1.2.5] abgedeckt. Der Lastvergleich [1.1.5] zeigt, dass die für die Tragfähigkeit der Struktur wesentlichen Extremlasten von Konfiguration 13 ebenfalls durch die Auslegungslasten [1.2.5] abgedeckt sind. Die Überschreitungen unmittelbar an der Blattspitze sind vernachlässigbar. Die Prüfergebnisse hinsichtlich des Blatttests behalten auch für die Anlagenkonfiguration 13 ihre Gültigkeit.

## **5.4 Schnittstellen**

Die folgenden Schnittstellen sollen betrachtet werden für den Maschinenbau und die Betriebshandbücher:

- [5.4.1] Eine Vorspannung von Minimum 658,3 kN und Maximum 790,0 kN für die Schraubverbindung zum Blattlager muss beachtet werden.

## **6 Auflagen**

- 6.1 Die ersten Eigenfrequenzen des nicht-rotierenden Blattes in Schwenk- und Schlagrichtung dürfen nicht mehr als 5% von den in Abschnitt 4.2 angegebenen Werten abweichen.

- 6.2 Die Materialdaten aus [1.1.15] sind durch Materialprüfungen oder Zulassungen zu bewerten. Der angesetzte Temperaturbereich muss bei der Prüfung berücksichtigt werden. Materialwerte (z.B. E-Module) dürfen nicht niedriger sein oder mehr als 10% von den angegebenen Werten abweichen. Für die Herstellung der Lamine sind die aufgeführten Rohmaterialien und Laminierverfahren zu verwenden. Die Rohmaterialien müssen den Anforderungen der GL-Richtlinie [2.6] entsprechen.
- 6.3 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach [2.6] erfüllt.
- 6.4 Um die Kriechverformung des GFK-Anteils in der vorgespannten Verbindung an der Blattwurzel zu berücksichtigen, muss die Vorspannung der Bolzenverbindung nach 4 Wochen bzw. 300 Betriebsstunden (der kürzere der beiden Zeiträume ist maßgebend) überprüft werden.
- 6.5 Nach höchstens zwei Jahren müssen die Rotorblätter durch einen unabhängigen Sachverständigen für Rotorblätter überprüft werden. Dies kann auf höchstens vier Jahre verlängert werden, wenn durch einen vom Hersteller autorisierten Sachkundigen eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung durchgeführt wird. Falls erforderlich müssen vorhandene Risse oder andere Beschädigungen in der Laminatstruktur bewertet und Reparaturmaßnahmen definiert werden.
- 6.6 Für die laufenden Überwachungen und Wartungen durch den Sachkundigen des Herstellers sind die Prüfungen und deren Umfang im Wartungsprotokoll zu dokumentieren. Es sind mindestens die Blattoberfläche, der Bereich der Flanschverbindung zum Blattlager und die Vorspannung der Bolzen zu überprüfen. Schäden, welche die Integrität der Struktur der Rotorblätter betreffen, müssen der TÜV NORD CERT GmbH gemeldet werden.

## 7 Schlussfolgerung

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

Es bestehen keine Bedenken das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 an der Windenergieanlagen E-138 EP3 E2 und E-138 EP3 E3 mit den in Kapitel 4.3 aufgeführten Konfigurationen zu betreiben.

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

Sachverständige(r):



Dipl.-Ing. M. Bätge

Freigegeben:



Dipl.-Ing. M. Passow

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

# Gutachtliche Stellungnahme

## für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-138 EP3 E3

### - Maschinenbauliche Komponenten -

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8119224863-4 D Rev. 1

**Anlagenspezifikation:** Bezeichnung: E-138 EP3 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 23 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen                                                                                             | Sachverständige/r |
|----------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 0        | 08.11.2022 | Angebot Nr.: 2020-0297, 2021-0228-12<br>- Erstausgabe                                                  | C. Burges         |
| 1        | 20.12.2022 | Angebot Nr.: 2021-0228-15<br>- Alternativen Pitchmotor hinzugefügt<br>- WEA Variante Nr. 3 hinzugefügt | R. Sommerfeld     |

## Inhaltsverzeichnis

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 1      | Dokumente .....                                          | 4  |
| 1.1    | Geprüfte Dokumente .....                                 | 4  |
| 1.2    | Dazugehörige Dokumente.....                              | 7  |
| 1.3    | Lastannahmen .....                                       | 9  |
| 1.4    | Zugehörige Prüfberichte.....                             | 9  |
| 1.5    | Hauptzeichnung .....                                     | 10 |
| 2      | Prüfgrundlagen .....                                     | 10 |
| 3      | Einleitung .....                                         | 10 |
| 4      | Beschreibung der Windenergieanlage .....                 | 10 |
| 4.1    | Anlagenkonzept .....                                     | 10 |
| 4.2    | Umgebungsbedingungen .....                               | 11 |
| 4.3    | Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen .....    | 11 |
| 4.3.1  | Blattlager .....                                         | 11 |
| 4.3.2  | Blattverstellgetriebe.....                               | 12 |
| 4.3.3  | Blattarretierung .....                                   | 13 |
| 4.3.4  | Rotornabe .....                                          | 13 |
| 4.3.5  | Hauptlagerung .....                                      | 13 |
| 4.3.6  | Rotorträger.....                                         | 15 |
| 4.3.7  | Achszapfen .....                                         | 15 |
| 4.3.8  | Achsdeckel.....                                          | 15 |
| 4.3.9  | Rotorarretierung.....                                    | 15 |
| 4.3.10 | Rotorbremse .....                                        | 16 |
| 4.3.11 | Maschinenträger .....                                    | 16 |
| 4.3.12 | Generatorstator .....                                    | 17 |
| 4.3.13 | Generatorrotor .....                                     | 17 |
| 4.3.14 | Azimutgetriebe .....                                     | 18 |
| 4.3.15 | Azimutlager .....                                        | 18 |
| 4.3.16 | Hydrauliksystem.....                                     | 19 |
| 4.4    | Verwendung in Windenergieanlagen.....                    | 19 |
| 5      | Durchgeführte Prüfungen.....                             | 20 |
| 5.1    | Prüfmethoden.....                                        | 20 |
| 5.2    | Mechanische Komponenten und Antriebe.....                | 20 |
| 5.3    | Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen ..... | 20 |

|   |     |                                              |    |
|---|-----|----------------------------------------------|----|
|   | 5.4 | Hinweise und Annahmen .....                  | 21 |
|   | 5.5 | Prüfergebnis .....                           | 21 |
|   | 5.6 | Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm ..... | 22 |
| 6 |     | Bedingungen .....                            | 22 |
| 7 |     | Ausstehende Nachweise .....                  | 22 |
| 8 |     | Schlussfolgerungen .....                     | 23 |

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Blattlager

- [1.1.1] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Design Calculation Pitch bearing Wind Turbine Generator Enercon E-138 EP3 E3, ROD02994-032DJ18-002-000, 13401303  
Dokument Nr.: p02994-032DJ18-002\_eng\_Enercon\_PiB\_E138EP3E3\_D02480762-01, Rev. -, vom 05.11.2021
- [1.1.2] Liebherr Components Biberach GmbH:  
FE-Berechnungsergebnisse - ROD02994-032DJ18-002 Enercon E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: ROD02994-032DJ18-002 Enercon E-138 EP3 E3, Rev. 001, vom 17.01.2022

#### Blattverstellgetriebe

- [1.1.3] Bonfiglioli Trasmital:  
Technical Report - Pitch Drive E-138 EP3 E3 NC  
Dokument Nr.: I21367D, Rev. -, vom 12.10.2021
- [1.1.4] Bonfiglioli Trasmital:  
Technical Report - Pitch Drive E-138 EP3 E3 CC  
Dokument Nr.: I21368D, Rev. -, vom 12.10.2021
- [1.1.5] Liebherr Components Biberach GmbH:  
Calculation Pitch gearbox DAT250/3457-3000, Enercon E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: 2021-052-2, Rev. -, vom 10.11.2021
- [1.1.6] Schaeffler Technologies AG & Co. KG:  
Bearing Calculation Pitch Gearbox DAT250-3457  
Dokument Nr.: DAT250-3457\_12856338\_E115EP3E3-E138EP3E2\_Pitch\_Enercon\BearinX\Überprüfung-Lebensdauer-03-21.vg2, Rev. -, vom 10.11.2021
- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
Calculation pitch brake E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: D02483477, Rev. 0.0, vom 20.09.2021

#### Hauptlagerung

- [1.1.8] SKF GmbH:  
Rechnerischer Nachweis zur Zertifizierung Nabenlagerung - Windenergieanlage Enercon E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: Enercon / E-138 EP3 E3, Rev. R03, vom 01.10.2021

[1.1.9] Liebherr-Components Biberach GmbH  
Technical data sheet - E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: TD\_HLE-E-138 EP3 E3\_en\_03 Rev. 03, vom 18.05.2022

[1.1.10] thyssenkrupp rothe erde Slovakia, a. s.:  
TECHNICAL REPORT - TECHNICAL DATASHEET - Enercon E-138 EP3 E3,  
Mainshaft Bearing Calculation  
Dokument Nr.: 21/22 Rev. 00, vom 03.12.2021

[1.1.11] Schaeffler Technologies AG & Co. KG  
Technical Documentation - Main Bearing - Wind Energy Turbine -  
E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: TD\_Enercon\_E-138 EP3 E3\_2022-05-09\_AF  
Rev. AF, vom 09.05.2022

#### Rotorträger

[1.1.12] ENERCON GmbH:  
Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3  
ROTOR CARRIER Ultimate and Fatigue Strength  
Dokument Nr.: D02454127-0.2, Rev. 0.2, vom 10.08.2021

#### Achszapfen

[1.1.13] ENERCON GmbH:  
Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3  
AXLE PIN Ultimate and Fatigue Strength  
Dokument Nr.: D02448585-0.2, Rev. 0.2, vom 03.08.2021

#### Rotorarretierung

[1.1.14] ENERCON GmbH:  
Calculation report rotor lock EP3  
Dokument Nr.: D0705527, Rev. 08, vom 26.01.2022

#### Rotorbremse

[1.1.15] ENERCON GmbH:  
Nachweis Rotorbremse EP3  
Dokument Nr.: D0669913, Rev. 7.1, vom 21.10.2021

#### Maschinenträger

[1.1.16] ENERCON GmbH:  
Verification for Certification - ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3  
- Main carrier - Ultimate und Fatigue Strength  
Dokument Nr.: D02414049-1.0, Rev. 1.0, vom 25.01.2022

### Generatorstator

[1.1.17] ENERCON GmbH:

Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3  
Stator Ultimate and Fatigue Strength  
Dokument Nr.: D02451664-1.0, Rev. 1.0, vom 11.02.2022

### Azimutgetriebe

[1.1.18] Liebherr Components Biberach GmbH:

Calculation Yaw gearbox DAT 450/4422 E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: 2021-021-2.0, Rev. -, vom 23.11.2021

[1.1.19] Bonfiglioli Trasmital:

Technical Report Yaw Drive 714 T4W, E-138 EP3 E3 / E-115 EP3 E4  
Dokument Nr.: I21402D\_rev3, Rev. 3, vom 21.12.2021

[1.1.20] Bonfiglioli Trasmital:

Validation test for 714T gearbox  
Dokument Nr.: QI5.01-05-A.04, Rev. S, vom 15.01.2021

### Azimutlager

[1.1.21] TMB Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.:

TMB Slewing Ring Calculation Report E-138 EP3 E3 Yaw Bearing  
Y033.60.3993K2  
Dokument Nr.: CR2021-11-30/1, Rev. 1, vom 30.11.2021

[1.1.22] Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH:

Technical Data Sheet - rothe erde Large Diameter Slewing Bearing - Yaw  
bearing E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: 20357\_01, Rev. 01, vom 02.12.2021

### Azimutarretierung

[1.1.23] ENERCON GmbH:

Berechnung - Nachweis der Azimutbremse E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: D02566860, Rev. 0.0, vom 14.01.2022

[1.1.24] ENERCON GmbH:

Lastaufbereitung Azimutverstellungssystem E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: D02566675, Rev. 0.1, vom 19.01.2022

### Hydrauliksystem

[1.1.25] HAWE Hydraulik SE:

Hydraulikschaltplan, AGGREGAT 20-152-H-00-00  
Dokument Nr.: 00\_DE-D00050112, Rev. 00, vom 20.09.2021

### Schraubverbindungen

[1.1.26] ENERCON GmbH:

Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 Bolt connection between axle pin and stator support star Ultimate and Fatigue Strength

Dokument Nr.: D02491608-1.0, Rev. 1.0, vom 21.01.2022

[1.1.27] ENERCON GmbH:

Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 Bolted connection Main Carrier to Stator Ultimate and Fatigue Strength

Dokument Nr.: D02434981-1.1, Rev. 1.1, vom 24.01.2022

[1.1.28] ENERCON GmbH:

Nachweisbericht - ENERCON Windenergieanlagen - E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3 – Schraubverbindung Statortragstern-Maschinenträger - Vorspannkraftverlauf nach überelastischer Montage

Dokument Nr.: D02782269/0.1, Rev. 0, vom 21.10.2022

### Lastvergleich

[1.1.29] ENERCON GmbH:

Verification for Certification - ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 - Load comparison for Ultimate and Fatigue strength

Dokument Nr.: D02486875-0.1, Rev. 0, vom 29.09.2021

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Blattlager

[1.2.1] ENERCON GmbH:

Technical specification Blade flange bearing E-138 EP3 E3

Dokument Nr.: D02480762, Rev. 0.1, vom 27.09.2021

[1.2.2] ENERCON GmbH:

Drawing Blade Flange Bearing 3RD-m12-z223i-b120

Dokument Nr.: EP3.01.137 - 1, Rev. 1, vom 22.02.2021

### Blattverstellgetriebe

[1.2.3] ENERCON GmbH:

Technical specification - Pitch gear E-138 EP3 E3

Dokument Nr.: D02480989, Rev. 0.1, vom 17.09.2021

### Hauptlagerung

[1.2.4] ENERCON GmbH:

Technical specification - Main Bearing E-138 EP3 E3

Dokument Nr.: D02388231, Rev. 0.2, vom 15.09.2021

### Rotorbremse

- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Bremszange - WD4515-BD70-HY  
Dokument Nr.: D0640707-1b, Rev. -, vom 05.12.2019

### Azimutgetriebe

- [1.2.6] ENERCON GmbH:  
Technical specification Yaw Gear m22-z12-b214-i1588  
Dokument Nr.: D02219255, Rev. 1.0, vom 29.10.2021
- [1.2.7] ENERCON GmbH:  
Technical specification Supplement to yaw gear specification E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: D02219279, Rev. 1.0, vom 29.10.2021
- [1.2.8] ENERCON GmbH:  
Lastaufbereitung Azimutverstellungssystem E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: D02566675, Rev. 0.1, vom 19.01.2022

### Azimutlager

- [1.2.9] ENERCON GmbH:  
Technical specification Yaw bearing 2KD-m22-z168i-b210  
Dokument Nr.: D02490508, Rev. 0.0, vom 29.09.2021
- [1.2.10] ENERCON GmbH:  
Technical specification Supplement to yaw bearing specification E-138 EP3 E3  
Dokument Nr.: D02497667, Rev. 2.0, vom 19.11.2021
- [1.2.11] ENERCON GmbH:  
Drawing Yaw Bearing 2KD-m22-z168i-b210  
Dokument Nr.: D02488498/0.5-de/en, Rev. -, vom 06.10.2021

### Hydrauliksystem

- [1.2.12] ENERCON GmbH:  
Spezifikation - Hydraulikaggregat E-138 EP3  
Dokument Nr.: D0748849, Rev. 5, vom 15.05.2020

### Schraubverbindungen

- [1.2.13] ENERCON GmbH:  
Datenbank, Schraubenangaben Zusammenstellung  
Dokument Nr.: D0415273, Rev. 2, vom 28.03.2018

[1.2.14] ENERCON GmbH:

Specification -0: Installation specifications for bolt connections in mechanical engineering

Dokument Nr.: D0977320, Rev. 6, vom 11.05.2020

[1.2.15] Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik, IGP:

Experimentelle Untersuchung zur Ermittlung der Haftreibungszahl in der Trennfuge

Bericht Nr.: P-FH-AGP-1803-014, Rev. 1, vom 16.08.2018

Konzept Wöhlerlinien für Gusseisen

[1.2.16] ENERCON GmbH:

Anhang C, Allgemeines zur Betriebsfestigkeitsrechnung für Bauteile aus Gusseisen

Dokument Nr.: D0166018, Rev. 4, vom 21.07.2020

### **1.3 Lastannahmen**

[1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:

Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, Diverse NH, DIBt Diverse WZ, Diverse GK - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

Bericht Nr.: 8119224863-1 D III, Rev. 2, vom 19.12.2022

### **1.4 Zugehörige Prüfberichte**

[1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:

Evaluation Report - Wind Turbine ENERCON E-138 EP3 E3 - Design Basis -  
Bericht Nr.: 8119224863-0 E, Rev. 0, vom 21.01.2022

[1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:

Evaluation Report - Wind Turbine ENERCON E-138 EP3 E2 - Machinery Components -

Bericht Nr.: 8117142915-4 E, Rev. 4, vom 31.08.2021

[1.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:

Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3, Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, verschiedene Konfigurationen, WZ S, GK S - Turmkopfflanschbaugruppe -

Bericht Nr.: 8119224863-11 D, Rev. 0, vom 07.02.2022

[1.4.4] 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

## **1.5 Hauptzeichnung**

- [1.5.1] ENERCON GmbH:  
Zusammenbauzeichnung - Gondel E-138 EP3 E3  
Zeichnung Nr.: D02162509/1.0-de/en, Rev. -, vom 30.08.2021

## **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 [1.4.1] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

|                                             |                                   |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| Antriebskonzept:                            | Direktantrieb                     |
| Auslegungslebensdauer für alle Komponenten: | 25 Jahre                          |
| Blattverstellungssystem:                    | Verstellgetriebe mit Motor        |
| Windrichtungsnachführung:                   | Verstellgetriebe mit Motor        |
| Arretierung der Windrichtungsnachführung:   | Motorbremsen der Verstellantriebe |
| Generatortyp:                               | Synchron                          |
| Generatorhersteller:                        | Enercon GmbH                      |
| Generatorbezeichnung:                       | E-138 EP3 E3-GE-01                |

## 4.2 Umgebungsbedingungen

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

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

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

## 4.3 Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen

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

Einige der maschinenbaulichen Komponenten sind identisch mit denen der WEA E-138 EP3 E2 aus dem Prüfbericht [1.4.2]. Für diese Komponenten wurden Lastvergleiche durchgeführt.

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

### 4.3.1 Blattlager

#### 4.3.1.1 Komponentenspezifikation

|                     |                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| Hersteller:         | Liebherr Components Biberach GmbH                          |
| Typ:                | Dreireihige Rollendrehverbindung                           |
| Handelsbezeichnung: | 13401303                                                   |
| Material:           | 42CrMo4+QT                                                 |
| Hauptzeichnung Nr.: | ROD02994-032DJ18-002-000,<br>Rev. 03.1, vom 16.03.2021     |
| Blattlagerringe:    | Nachgewiesen durch Extrem- und<br>Betriebslastberechnungen |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)                   |

## 4.3.2 Blattverstellgetriebe

### 4.3.2.1 Komponentenspezifikation

|                                |                                                     |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hersteller:                    | Bonfiglioli Trasmital                               |
| Typ:                           | Dreistufiges Planetenradgetriebe                    |
| Handelsbezeichnung:            | 707 T3N (NC)                                        |
| Produktcode:                   | JB00009063                                          |
| Getriebeübersetzung:           | 173,4                                               |
| Hauptzeichnung Nr.:            | I7070T003600, Rev. D, vom 10.05.2021                |
| Schnittzeichnung Nr.:          | A7070T09800, Rev. B, vom 10.05.2021                 |
| Ritzelwelle Zeichnung Nr.:     | YP00012041, Rev. -, vom 08.01.2020                  |
| Anzahl der Antriebe pro Blatt: | 1                                                   |
| Motor:                         | Wilo M112BM1-4F40Y1-PZ55;<br>Bonfiglioli JB00023142 |
| Verwendung:                    | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)            |

### 4.3.2.2 Komponentenspezifikation

|                                |                                                     |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hersteller:                    | Bonfiglioli Trasmital                               |
| Typ:                           | Dreistufiges Planetenradgetriebe                    |
| Handelsbezeichnung:            | 707 T3N (CC)                                        |
| Produktcode:                   | JB00013488                                          |
| Getriebeübersetzung:           | 173,4                                               |
| Hauptzeichnung Nr.:            | I7070T04700, Rev. D, vom 10.05.2021                 |
| Schnittzeichnung Nr.:          | A7070T010000, Rev. B, vom 10.05.2021                |
| Ritzelwelle Zeichnung Nr.:     | YP00012041, Rev. -, vom 08.01.2020                  |
| Anzahl der Antriebe pro Blatt: | 1                                                   |
| Motor:                         | Wilo M112BM1-4F40Y1-PZ55;<br>Bonfiglioli JB00023142 |
| Verwendung:                    | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)            |

### 4.3.2.3 Komponentenspezifikation

|                                |                                                     |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hersteller:                    | Liebherr Components Biberach GmbH                   |
| Typ:                           | Dreistufiges Planetenradgetriebe                    |
| Handelsbezeichnung:            | DAT 250/3457 (NC)                                   |
| Produktcode:                   | 12856338                                            |
| Getriebeübersetzung:           | 176,4                                               |
| Hauptzeichnung Nr.:            | 368 457 2000 99 0, Rev. 03.3, vom 10.11.2021        |
| Schnittzeichnung Nr.:          | 368 457 2000 00 0, Rev. 04.2, vom 25.05.2020        |
| Ritzelwelle Zeichnung Nr.:     | 368 457 2000 10 0, Rev. 03.1, vom 21.09.2021        |
| Anzahl der Antriebe pro Blatt: | 1                                                   |
| Motor:                         | Wilo M112BM1-4F40Y1-PZ55;<br>Bonfiglioli JB00023142 |
| Verwendung:                    | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)            |

#### 4.3.2.4 Komponentenspezifikation

|                                |                                                     |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hersteller:                    | Liebherr Components Biberach GmbH                   |
| Typ:                           | Dreistufiges Planetenradgetriebe                    |
| Handelsbezeichnung:            | DAT 250/3457 (CC)                                   |
| Produktcode:                   | 12940474                                            |
| Getriebeübersetzung:           | 176,4                                               |
| Hauptzeichnung Nr.:            | 368 457 2000 99 2, Rev. 01.3, vom 10.11.2021        |
| Schnittzeichnung Nr.:          | 368 457 2000 00 2, Rev. 02.2, vom 25.05.2020        |
| Ritzelwelle Zeichnung Nr.:     | 368 457 2000 10 0, Rev. 03.1, vom 21.09.2021        |
| Anzahl der Antriebe pro Blatt: | 1                                                   |
| Motor:                         | Wilo M112BM1-4F40Y1-PZ55;<br>Bonfiglioli JB00023142 |
| Verwendung:                    | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)            |

#### 4.3.3 Blattarretierung

##### 4.3.3.1 Komponentenspezifikation

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Auslegung:          | ENERCON GmbH                             |
| Typ:                | Mechanische Arretiervorrichtung          |
| Hauptzeichnung Nr.: | EP3.99.055-0, Rev. 0, vom 13.11.2019     |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

#### 4.3.4 Rotornabe

##### 4.3.4.1 Komponentenspezifikation

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Auslegung:          | ENERCON GmbH                             |
| Typ:                | Gussteil                                 |
| Handelsbezeichnung: | EP3-ROH-10                               |
| Material:           | EN-GJS-400-18-LT                         |
| Hauptzeichnung Nr.: | EP3.01.138 - 2, Rev. 2, vom 24.06.2021   |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

#### 4.3.5 Hauptlagerung

##### 4.3.5.1 Komponentenspezifikation

|                        |                                           |
|------------------------|-------------------------------------------|
| Hersteller:            | SKF GmbH                                  |
| Typ:                   | Kegelrollerlager in O-Anordnung           |
| <u>Nabenseitig</u>     |                                           |
| Handelsbezeichnung:    | BT1-8212 B/VK443                          |
| Hauptzeichnung Nr.:    | BT1-8212 B/VK443, Rev. 3, vom 06.10.2021  |
| <u>Generatorseitig</u> |                                           |
| Handelsbezeichnung:    | BT1-8213 AA/VK443                         |
| Hauptzeichnung Nr.:    | BT1-8213 AA/VK443, Rev. 1, vom 20.10.2021 |
| Verwendung:            | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)  |

#### 4.3.5.2 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr-Components Biberach GmbH  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: 13572699  
Hauptzeichnung Nr.: KED01915-090E018-001-000,  
Rev. 04, vom 26.04.2022  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: 13714609  
Hauptzeichnung Nr.: KED01920-075E018-001-000  
Rev. 04, vom 26.04.2022  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.5.3 Komponentenspezifikation

Hersteller: Schaeffler Technologies AG & Co. KG  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: 097524956-0000  
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-627880.02.TR1-WPOS 000  
Rev. AF, vom 07.04.2022  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: 097525006-0000  
Hauptzeichnung Nr.: EDD F-627881.02.TR1-WPOS 000  
Rev. AG, vom 07.04.2022  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.5.4 Komponentenspezifikation

Hersteller: Thyssenkrupp rothe erde Slovakia, a.s.  
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung  
Nabenseitig  
Handelsbezeichnung: PSL612-415-1  
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-415-1-PV, Rev. 1, vom 03.02.2022  
Generatorseitig  
Handelsbezeichnung: PSL612-416-1  
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-416-1-PV, Rev. 1, vom 03.02.2022  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

#### **4.3.6 Rotorträger**

##### *4.3.6.1 Komponentenspezifikation*

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Auslegung:          | ENERCON GmbH                             |
| Typ:                | Gussteil                                 |
| Handelsbezeichnung: | EP3-RS-03                                |
| Material:           | EN-GJS-400-18-LT                         |
| Hauptzeichnung Nr.: | D02456615, Rev. 0.0, vom 02.09.2021      |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

#### **4.3.7 Achszapfen**

##### *4.3.7.1 Komponentenspezifikation*

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Auslegung:          | ENERCON GmbH                             |
| Typ:                | Gussteil                                 |
| Handelsbezeichnung: | EP3-AP-08                                |
| Material:           | EN-GJS-400-18-LT                         |
| Hauptzeichnung Nr.: | D02438823-1.0, Rev. 1.0, vom 15.09.2021  |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

#### **4.3.8 Achsdeckel**

##### *4.3.8.1 Komponentenspezifikation*

|                     |                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| Auslegung:          | ENERCON GmbH                                    |
| Typ:                | Stahlbauteil                                    |
| Material:           | C45                                             |
| Hauptzeichnung Nr.: | D0245465/0.2-de/en, Rev. -, vom 08.09.2021      |
| Hinweis:            | Inkl. Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)        |

#### **4.3.9 Rotorarretierung**

##### *4.3.9.1 Komponentenspezifikation*

|                       |                                                       |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|
| Design:               | ENERCON GmbH                                          |
| Type:                 | Stahlbauteil                                          |
| Material Bolzen:      | X20Cr13 + QT800                                       |
| Bolzen Zeichnung Nr.: | EP3.09-198-2, Rev. 2, vom 23.07.2018                  |
| Anzahl Arretierungen: | 3                                                     |
| Einschränkung:        | Max. Arretierlast 9280 kNm gem. Anforderung aus [2.2] |
| Verwendung:           | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)              |

#### **4.3.10 Rotorbremse**

##### *4.3.10.1 Komponentenspezifikation*

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Hersteller:         | KTR Systems GmbH                         |
| Typ:                | Hydraulische Scheibenbremse              |
| Handelsbezeichnung: | KTR-STOP YAW L C-70                      |
| Hauptzeichnung Nr.: | 802402, Rev. 2, vom 21.07.2020           |
| Anzahl der Bremsen: | 3                                        |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

##### *4.3.10.2 Komponentenspezifikation*

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Hersteller:         | SIBRE Siegerland Bremsen GmbH            |
| Type:               | Hydraulische Scheibenbremse              |
| Handelsbezeichnung: | ABT120G-R-CS-S                           |
| Hauptzeichnung Nr.: | 10 0003 1284, Rev. 0.0, vom 13.02.2018   |
| Anzahl der Bremsen: | 3                                        |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

#### **4.3.11 Maschinenträger**

##### *4.3.11.1 Komponentenspezifikation*

|                     |                                             |
|---------------------|---------------------------------------------|
| Design:             | ENERCON GmbH                                |
| Type:               | Gussteil                                    |
| Handelsbezeichnung: | Main carrier EP3-MC-08                      |
| Material:           | EN-GJS-400-18-LT                            |
| Hauptzeichnung Nr.: | D02250932/1.0-de/en, Rev. -, vom 19.10.2021 |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)    |

### 4.3.12 Generatorstator

#### 4.3.12.1 Komponentenspezifikation

|                              |                                          |
|------------------------------|------------------------------------------|
| Auslegung:                   | ENERCON GmbH                             |
| Typ:                         | Guss- und Schweißteil                    |
| Material:                    | EN-GJS-400-18-LT / S355J2+N              |
| Zeichn. Nr. Statortragstern: | D02252149, Rev. 1.1, dated 2022-01-24    |
| Zeichn. Nr. Statortragstern: | D02338081, Rev. 1.0, dated 2022-01-24    |
| Zeichn. Nr. Statorring P1:   | D02355357, Rev. 0.0, dated 2021-06-14    |
| Zeichn. Nr. Statorring P2:   | D02358069, Rev. 0.0, dated 2021-06-14    |
| Zeichn. Nr. Tragarm 12 Uhr:  | D02467126, Rev. 2.0, dated 2021-12-02    |
| Zeichn. Nr. Tragarm 2 Uhr:   | D02457941, Rev. 2.1, dated 2021-12-02    |
| Zeichn. Nr. Tragarm 4 Uhr:   | D02459344, Rev. 2.0, dated 2021-12-03    |
| Zeichn. Nr. Tragarm 6 Uhr:   | D02462951, Rev. 2.0, dated 2021-12-03    |
| Zeichn. Nr. Tragarm 8 Uhr:   | D02463210, Rev. 2.0, dated 2021-12-02    |
| Zeichn. Nr. Tragarm 10 Uhr:  | D02467102, Rev. 2.1, dated 2021-12-02    |
| Verwendung:                  | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2) |

### 4.3.13 Generatorrotor

#### 4.3.13.1 Komponentenspezifikation

|                     |                                                                                                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auslegung:          | ENERCON GmbH                                                                                                                  |
| Typ:                | Schweißbauteil                                                                                                                |
| Handelsbezeichnung: | 730.7040                                                                                                                      |
| Material:           | S355J2+N                                                                                                                      |
| Hauptzeichnung Nr.: | EP3.02.1386 - 2, Rev. 2, vom 29.07.2021<br>EP3.02.1387 - 2, Rev. 2, vom 29.07.2021<br>EP3.02.1422 - 2, Rev. 2, vom 29.07.2021 |
| Hinweis:            | Inkl. Schraubverbindung Generatorrotor - Rotorträger                                                                          |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)                                                                                      |

#### **4.3.14 Azimutgetriebe**

##### *4.3.14.1 Komponentenspezifikation*

|                            |                                                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hersteller:                | Liebherr Components Biberach GmbH                   |
| Typ:                       | Vierstufiges Planetengetriebe                       |
| Handelsbezeichnung:        | DAT 450/4422                                        |
| Produktcode:               | 13521946                                            |
| Getriebeübersetzung:       | 1592,31                                             |
| Hauptzeichnung Nr.:        | 13521946-99, Rev. 01.8, vom 03.12.2021              |
| Schnittzeichnung Nr.:      | 468 422 4000 00 0, Rev. 01.7, vom 25.11.2021        |
| Ritzelwelle Zeichnung Nr.: | 13714613-00, Rev. 00.1, vom 12.11.2021              |
| Anzahl der Antriebe:       | 5                                                   |
| Motor:                     | EMOD FKOLBI IPM132/6-180T<br>Bonfiglioli JB00023132 |
| Verwendung:                | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)            |

##### *4.3.14.2 Komponentenspezifikation*

|                            |                                                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hersteller:                | Bonfiglioli Trasmital                               |
| Typ:                       | Vierstufiges Planetengetriebe                       |
| Handelsbezeichnung:        | 714T                                                |
| Produktcode:               | JB00023253                                          |
| Getriebeübersetzung:       | 1583,2                                              |
| Hauptzeichnung Nr.:        | CD00019972, Rev. -, vom 29.10.2021                  |
| Schnittzeichnung Nr.:      | AD0006416, Rev. A, vom 21.01.2022                   |
| Ritzelwelle Zeichnung Nr.: | YP00021351, Rev. -, vom 03.05.2021                  |
| Anzahl der Antriebe:       | 5                                                   |
| Motor:                     | EMOD FKOLBI IPM132/6-180T<br>Bonfiglioli JB00023132 |
| Verwendung:                | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)            |

#### **4.3.15 Azimutlager**

##### *4.3.15.1 Komponentenspezifikation*

|                     |                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| Hersteller:         | TMB Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd |
| Type:               | Zweireihige Kugeldrehverbindung                   |
| Handelsbezeichnung: | Y033.60.3993K2                                    |
| Material:           | 42CrMo4                                           |
| Hauptzeichnung Nr.: | Y033.60.3993K2, Rev. 1, vom 02.12.2021            |
| Verwendung:         | WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)          |

#### 4.3.15.2 Komponentenspezifikation

Hersteller: Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH  
 Type: Zweireihige Kugeldrehverbindung  
 Handelsbezeichnung: 37030980  
 Material: 42CrMo4 V / +QT  
 Hauptzeichnung Nr.: 092.55.3996.010.48.150D, Rev. A, vom 26.11.2021  
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-3 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.16 Hydrauliksystem

##### 4.3.16.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: HAWE Hydraulik SE  
 Handelsbezeichnung: 20-152-H-00-00  
 Schaltplan Nr.: 00\_DE-D00050112, Rev. 00, vom 20.09.2021  
 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 dem Dokument unter Punkt 1.3 zu entnehmen ist.

| Var. Nr. | WEA Bezeichnung | Nennleistung | Rotorblatt      | Nabenhöhe (Turm)                            | DIBt Windzone | Gelände-kategorie | Prüfbericht Lasten |
|----------|-----------------|--------------|-----------------|---------------------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|
| 1        | E-138 EP3 E3    | 4,26 MW      | E-138 EP3-RB-02 | 130,639 m<br>(E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01) | WZ S          | GK S              | [1.3.1]            |
| 2        | E-138 EP3 E3    | 4,26 MW      | E-138 EP3-RB-02 | 110,396 m<br>(E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01) | WZ S          | GK S              | [1.3.1]            |
| 3        | E-138 EP3 E3    | 4,26 MW      | E-138 EP3-RB-02 | 160 m<br>(E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01)      | WZ 2          | GK II             | [1.3.1]            |

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

## **5 Durchgeführte Prüfungen**

### **5.1 Prüfmethoden**

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

Die Prüfung der Auslegung und Tragfähigkeit der maschinenbaulichen Komponenten erfolgte teilweise auf der Grundlage von Lastvergleichen. Zu diesem Zweck wurden die ursprünglich verwendeten Auslegungslasten mit den im Dokument [1.3.1] aufgeführten Extrem- und Betriebslasten verglichen. Äquivalente Momente und resultierende Beanspruchungen wurden unter Beachtung der geforderten Lebensdauer der Komponenten ermittelt.

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, Achszapfen, Rotorträger, Generatorrotor und Generatorstator inkl. der Schraubverbindungen zu den Anschlusskonstruktionen.

Bei Finite-Elemente-Berechnungen wurden Geometrie, Vernetzung, Elementauswahl und Randbedingungen geprüft. Die Bewertung der FE-Ergebnisse erfolgte über Vergleichsrechnungen oder Plausibilitätsprüfungen.

Schädigungsrechnungen erfolgten auf der Grundlage synthetischer Wöhlerkurven. Der Mittelspannungseinfluss und abmindernde Einflüsse auf die Schwingfestigkeit wurden berücksichtigt.

Die Festigkeit hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurde mit analytischen Methoden in Anlehnung an VDI 2230 Blatt 1 (2015) geprüft. Die Vergleichsrechnungen berücksichtigen dabei die auslegungsrelevanten Berechnungsgrößen wie Montagevorspannkraft, Krafteinleitung und Anziehfaktor.

Die Festigkeit einiger hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurden auf der Grundlage von FEM Analysen anhand detaillierter FE Modelle geprüft. Die Vorspannung der Schrauben sowie der Einfluss der Anschlusskonstruktionen wurden dabei in ausreichender Weise berücksichtigt.

#### **5.4 Hinweise und Annahmen**

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für maschinenbauliche Komponenten und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Soweit redaktionelle und technische Abweichungen oder Fehler keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurde keine Korrektur der unter Punkt 1 geprüften Unterlagen gefordert.

Die zulässigen Zahnfuß- sowie Zahnflankenspannungen von Blattverstellgetriebe und Azimutgetriebe des Herstellers Liebherr wurden dem Prüfbericht [1.4.4] entnommen.

Die Rotorbremsen unter 4.3.10 können nur zu Wartungszwecken verwendet werden und sind nicht Bestandteil von sicherheitsrelevanten Automatismen. Das minimale Bremsmoment ist zu berücksichtigen.

#### **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.

7.1 keine

## 8 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieses Gutachtens geprüften maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen erfüllen die Anforderungen der DIN EN IEC 61400-1:2019-12 in Bezug auf Tragfähigkeit und Auslegung für die zugrunde gelegten Annahmen unter Beachtung der geforderten Lebensdauer von 25 Jahren.

Die unter Punkt 5.4 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 6 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Die 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 Typenprüfung der Windenergieanlage  
**ENERCON E-138 EP3 E3**  
und E-115 EP3 E4

**- Verkleidungen & Strukturen -**

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8119224863-12 D Rev. 1

**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 11 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen                                                | Sachverständige/r |
|----------|------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|
| 0        | 24.10.2022 | - Erstausgabe                                             | C. Burges         |
| 1        | 20.12.2022 | Angebot: 2021-0228-15<br>- WEA Variante Nr. 4 hinzugefügt | R. Sommerfeld     |

## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Dokumente .....                                           | 3  |
| 1.1   | Geprüfte Dokumente .....                                  | 3  |
| 1.2   | Dazugehörige Dokumente.....                               | 4  |
| 1.3   | Lastannahmen .....                                        | 4  |
| 1.4   | Zugehörige Prüfberichte .....                             | 5  |
| 2     | Prüfgrundlagen .....                                      | 5  |
| 3     | Einleitung .....                                          | 6  |
| 4     | Beschreibung der Windenergieanlage .....                  | 6  |
| 4.1   | Anlagenkonzept .....                                      | 6  |
| 4.2   | Umgebungsbedingungen .....                                | 6  |
| 4.3   | Geprüfte Verkleidungen und Strukturen .....               | 6  |
| 4.3.1 | Gondelverkleidung .....                                   | 6  |
| 4.3.2 | Gondelbühne .....                                         | 7  |
| 4.3.3 | Generatorverkleidung.....                                 | 7  |
| 4.3.4 | Dachmodul.....                                            | 8  |
| 4.4   | Verwendung in Windenergieanlagen.....                     | 8  |
| 5     | Durchgeführte Prüfungen.....                              | 8  |
| 5.1   | Prüfmethoden.....                                         | 8  |
| 5.2   | Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen ..... | 9  |
| 5.3   | Hinweise und Annahmen .....                               | 9  |
| 5.4   | Prüfergebnis.....                                         | 10 |
| 6     | Bedingungen.....                                          | 10 |
| 7     | Auflagen.....                                             | 10 |
| 8     | Schlussfolgerungen .....                                  | 11 |

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Gondelverkleidung

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-115 EP3 E4  
and E-138 EP3 E3 Machine House Cover Statics  
Dokument Nr.: D02527240, Rev. 0.1, vom 03.12.2021
- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,  
Generatorverkleidung, Statischer Nachweis  
Dokument Nr.: D0872400-0  
Rev. 0, vom 2019-09-18

#### Gondelbühne

- [1.1.3] ENERCON GmbH:  
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E3  
Gondelbühne Statik  
Dokument Nr.: D02546726, Rev. 0.0, vom 24.11.2021

#### Generatorverkleidung

- [1.1.4] ENERCON GmbH:  
Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 and E-  
115 EP3 E4 E-Nacelle Generator Casing Ultimate Strength  
Dokument Nr.: D02548967, Rev. 0.0, vom 29.11.2021
- [1.1.5] ENERCON GmbH:  
Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 and E-  
115 EP3 E4 E-Nacelle Container Sized Generator Casing Ultimate Strength  
Dokument Nr.: D02548976, Rev. 0.0, vom 30.11.2021

#### Dachmodul

- [1.1.6] ENERCON GmbH:  
Certification Report ENERCON Wind Energy Converter Platform EP3 Roof  
Module Ultimate Strength  
Dokument Nr.: D0850499, Rev. 2.1, vom 08.02.2022

#### Anschlagpunkte

- [1.1.7] ENERCON GmbH:  
Certification report ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3  
Anchorage Points at Nacelle Ultimate Strength  
Dokument Nr.: D02550733, Rev. 0.1, vom 02.12.2021

## **1.2 Dazugehörige Dokumente**

### Gondelverkleidung

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
Kundenspezifikation ENERCON für EN AW 5754 (H111)  
Dokument Nr.: D0295946 Rev. 0, vom 07.07.2008

### Generatorverkleidung

- [1.2.2] ENERCON GmbH:  
Spezifikation Materialdaten für GFK Verkleidungskomponenten Rev.3  
Dokument Nr.: D0689349, Rev. 3, vom 15.08.2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
Spezifikation für glasfaserverstärkte Verkleidungen von ENERCON WEA  
Dokument Nr.: D0687898-3  
Rev. 3, vom 2019-08-05

### Anschlagpunkte

- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung, Statische Nachweise  
Dokument Nr.: D0448398, Rev. 1, vom 10.12.2016
- [1.2.5] ENERCON GmbH:  
Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3  
Anchorage Points at Nacelle Ultimate Strength  
Dokument Nr.: D02457731, Rev. 0.0, vom 20.08.2021

## **1.3 Lastannahmen**

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, Diverse NH, DIBt Diverse WZ, Diverse GK - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -  
Bericht Nr.: 8119224863-1 D III, Rev. 2, vom 19.12.2022
- [1.3.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage E-115 EP3 E4, RB E-115 EP3-RB-03, NH 92 m, DIBt WZ 4, GK I & II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -  
Bericht Nr.: 8119357237-1 D II, Rev. 1, vom 25.04.2022

## **1.4 Zugehörige Prüfberichte**

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON EP5 - Verkleidung & Strukturen -  
Bericht Nr.: 8119201822-12 D, Rev. 0, vom 26.11.2021
- [1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
Evaluation Report - Wind Turbine ENERCON E-138 EP3 E3 - Design Basis -  
Bericht Nr.: 8119224863-0 E, Rev. 0, vom 21.01.2022
- [1.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:  
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage  
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2 - Verkleidung & Strukturen -  
Bericht Nr.: 8116503696-12 D, Rev. 3, vom 30.03.2021

## **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 Verkleidungen 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 [1.4.2] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Anlagentyp: E-138 EP3 E3 & E115 EP3 E4  
Auslegungslebensdauer der Komponenten: 25 Jahre

### 4.2 Umgebungsbedingungen

Die Verkleidungen und Strukturen wurden für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

| Bedingung          | Temperaturbereich<br>Betrieb | Temperaturbereich<br>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.: D02547652\_0.0  
MD5-Checksum: 1ed55e74a6b7a4628ea9d12d20b6dfd7  
Extremwindgeschw.  $v_{e50}$ : 70 m/s  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (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.: D02547652\_0.0  
MD5-Checksum: 1ed55e74a6b7a4628ea9d12d20b6dfd7  
Extremwindgeschw.  $v_{e50}$ : 70 m/s  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

## 4.3.3 Generatorverkleidung

### 4.3.3.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: GFK- Struktur  
Material: siehe Spezifikation [1.2.2]  
Hauptzeichnung Nr.: D02623549, Rev. 0.0, vom 11.02.2022  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]  
Extremwindgeschw.  $v_{e50}$ : 70 m/s  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.3.2 Komponentenspezifikation (containerfähig)

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: GFK- Struktur  
Material: siehe Spezifikation [1.2.2]  
Hauptzeichnung Nr.: D02623549, Rev. 0.0, vom 11.02.2022  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]  
Extremwindgeschw.  $v_{e50}$ : 70 m/s  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1, 3-4 (siehe Tabelle 4.2)

### 4.3.3.3 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: GFK- Struktur  
Material: siehe Spezifikation [1.2.3]  
Hauptzeichnung Nr.: D0860520, Rev. 0, vom 24.10.2019  
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.2]  
Extremwindgeschw.  $v_{e50}$ : 70 m/s  
Verwendung: WEA Variante Nr. 2 (siehe Tabelle 4.2)

#### 4.3.4 Dachmodul

##### 4.3.4.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH  
Typ: Stahlstruktur  
Material: S355  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.862-1, Rev. 1, vom 08.07.2019  
Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.1089-0, Rev. 0, vom 18.10.2021  
Extremwindgeschw.  $v_{e50}$ : 89 m/s  
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (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.

| Var. Nr. | WEA Bezeichnung | Nennleistung | Rotorblatt      | Nabenhöhe (Turm)                            | DIBt Windzone | Gelände-kategorie | Prüfbericht Lasten |
|----------|-----------------|--------------|-----------------|---------------------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|
| 1        | E-138 EP3 E3    | 4,26 MW      | E-138 EP3-RB-02 | 130,639 m<br>(E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01) | WZ S          | GK S              | [1.3.1]            |
| 2        | E-115 EP3 E4    | 4,26 MW      | E115 EP3-RB-03  | 92 m<br>(E-115 EP3 E4-HST-92-FB-C-01)       | WZ 4          | GK I & II         | [1.3.2]            |
| 3        | E-138 EP3 E3    | 4,26 MW      | E-138 EP3-RB-02 | 110,396m<br>(E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01)  | WZ S          | GK S              | [1.3.1]            |
| 4        | E-138 EP3 E3    | 4,26 MW      | E-138 EP3-RB-02 | 160 m<br>(E-138 EP3 E3-HT-160-ES-C-01)      | WZ 2          | GK II             | [1.3.1]            |

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

## 5 Durchgeführte Prüfungen

### 5.1 Prüfmethoden

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

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

## **5.2 Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen**

Bei Finite-Elemente-Berechnungen wurden Geometrie, Vernetzung, Elementauswahl und Randbedingungen geprüft. Die Bewertung der FE-Ergebnisse erfolgte über Vergleichsrechnungen oder Plausibilitätsprüfungen.

Die Festigkeit einiger hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurde auf der Grundlage von FEM Analysen anhand detaillierter FE Modelle geprüft. Die Vorspannung der Schrauben sowie der Einfluss der Anschlusskonstruktionen wurden dabei in ausreichender Weise berücksichtigt.

Die Tragfähigkeit der Maschinenhausverkleidung, Gondelbühne, Generatorverkleidung und Dachmodul 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, Gondelbühne, Generatorverkleidung und Dachmodul 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. Die speziellen Materialeigenschaften für glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) wurden dabei gesondert berücksichtigt. Der Prüfumfang beinhaltet zudem alle relevanten Befestigungen zu den primären Strukturbauteilen sowie zu Anbauten und Anschlagpunkten.

## **5.3 Hinweise und Annahmen**

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für 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 FVK-Materialeigenschaften für die Generatorverkleidung wurden einer Materialspezifikation [1.2.2] entnommen. Es wird vorausgesetzt, dass der Hersteller die angegebenen Materialkennwerte für die laufende Produktion gewährleistet.

Die Anschlagpunkte von Gondeldach, Gondelbühne und Dachmodul wurden mit einer Last von 22,2 kN gem. [1.2.4] nachgewiesen. Die Anschlagpunkte an der Gondelverkleidung und die Anschlagpunkte 4 bis 5 und 8 bis 11 der Gondelbühne sind identisch zu den bereits geprüften Anschlagpunkten der WEA E-160 EP5 E3 (siehe [1.2.5] und [1.4.1]).

Es dürfen sich maximal zwei Personen gleichzeitig auf dem Gondeldach befinden.

#### **5.4 Prüfergebnis**

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei den aufgetragenen Einwirkungen vorhanden sind.

### **6 Bedingungen**

- 6.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- 6.2 Für jede Art von Hebezeugen und integrierten Kränen gelten die nationalen Anforderungen der jeweiligen Maschinenrichtlinie unter Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschrift (DGUV).
- 6.3 Für die Begehung des Gondeldaches ist bevorzugt der Mittelsteg zu verwenden. In Ausnahmefällen und bei der Montage der Gondel dürfen die Seitenbereiche des Gondeldaches von einer Person betreten werden. Dies muss im Betriebshandbuch beschrieben und auch an der Windenergieanlage hinreichend gekennzeichnet sein.

### **7 Auflagen**

- 7.1 keine

## 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.

Die unter Punkt 5.3 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 6 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den 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.

Die Sachverständige:



M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:



Dr.-Ing. W. Aldenhoff

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

## Gutachtliche Stellungnahme

für die Windenergieanlage E-138 EP3 E3,  
Rotorblatt E-138 EP3-RB-02, verschiedene Konfigurationen,  
WZ S, GK S

### - Turmkopfflanschbaugruppe -

**TÜV NORD Bericht-Nr.:** 8119224863-11 D Rev. 0

**Gegenstand der Stellungnahme:** Turmkopfflanschbaugruppe gemäß DIBt  
Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korri-  
gierte Fassung März 2015)

**Anlagenhersteller:** ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

Die Gutachtliche Stellungnahme umfasst 8 Seiten.

| Revision | Datum      | Änderungen  | Prüfer     |
|----------|------------|-------------|------------|
| 0        | 07.02.2022 | Erstausgabe | C. Fischer |

## Inhaltsverzeichnis

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

## **1 Dokumente**

### **1.1 Geprüfte Dokumente**

#### Statische Berechnungen

- [1.1.1] ENERCON GmbH:  
„Verification for Certification ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange Statics und Fatigue Strength“  
Dokument Nr.: D02524598, Rev. 2.0, Datum: 24.01.2022

#### Anlagen

- [1.1.2] ENERCON GmbH:  
Zeichnung „Turmflansch Spezifikation-D3868-150xM30“,  
Zeichnungs-Nr.: D02133917/0.1, Rev. 0.1, Datum: 05.02.2021

### **1.2 Dazugehörige Dokumente**

#### Lastannahmen

- [1.2.1] ENERCON GmbH:  
„Lastenbericht Maschinenbau E-138 EP3 E3 Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Maschinenbau E-138 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-138 EP3-RB-02 nach DIBt und IEC“  
Dokument Nr.: D02397614, Rev. 0.3, Datum: 20.01.2022
- [1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:  
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-138 EP3 E3, RB E-138 EP3-RB-02, Diverse NH, DIBt WZ S, GK S - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -“  
TÜV NORD Bericht Nr.: 8119224863-1 D III Rev. 0, Datum: 03.02.2022

#### Zeichnungen zur Turmkopfbaugruppe

- [1.2.3] ENERCON GmbH:  
„Azimutlager 2KD-m22-z168i-b210“  
Zeichnungs-Nr.: D02134927/0.0, Rev. 0.0, Datum: 20.01.2021
- [1.2.4] ENERCON GmbH:  
„Maschinenträger EP3-MC-08“  
Zeichnungs-Nr.: D02250932/0.0, Rev. 0.0, Datum: 02.07.2021

#### 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 (Fassung 10.2012):  
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“
- [2.2] DIN EN 1993-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-1/NA (08.2015):  
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: 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 Dickenrichtung“
- [2.6] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):  
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen“

## **3 Einleitung**

Gegenstand dieser Stellungnahme ist die Prüfung der Turmkopfflanschbaugruppe – bestehend aus dem Kopfflansch, der Schweißnaht zwischen Flansch und Turmwand sowie der Schraubverbindungen zwischen Flansch und Azimutlager und zwischen Azimutlager und Maschinenträger – hinsichtlich struktureller Integrität im Sinne der DIBt-Richtlinie [2.1].

## **4 Beschreibung**

### **4.1 Turmkopfflansch**

Der Turmkopfflansch ist ein L-Flansch mit einem Innendurchmesser von 3777 mm und einem Außendurchmesser von 4036 mm. Die Gesamthöhe beträgt 225 mm und der Flanschhals ist 35 mm dick. Weitere Informationen können der Zeichnung [1.1.2] entnommen werden.

Der Flansch wird mit dem Azimutlager mittels 150 Gewindestangen M30 verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger wird durch 178 Gewindestangen M30 hergestellt. Die Geometrie des Azimutlagers und des Maschinenträgers ist in [1.2.3] und [1.2.4] dargestellt.

## 4.2 Lastannahmen

Die Turmkopfflanschbaugruppe wurde für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Konfigurationen nachgewiesen. Die verwendeten Auslegungslasten ([1.2.1]) bilden die relevanten einhüllenden Lasten an den jeweiligen Turmköpfen. Die Ermüdungslasten basieren auf einer Lebensdauer von 25 Jahren.

Die Windenergieanlage erbringt eine maximale Leistung von 4260 kW und verwendet das Rotorblatt E-138 EP3-RB-02.

| Nr. | WEA Bezeichnung | Nabenhöhe | Turmkonfiguration            | Windzone (DIBt 2012) | Geländekategorie | Lasten spezifiziert in | Lasten geprüft in |
|-----|-----------------|-----------|------------------------------|----------------------|------------------|------------------------|-------------------|
| 1   | E-138 EP3 E3    | 81 m      | E-138 EP3 E3-ST-81-FB-C-01   | S                    | S                | [1.2.1]                | [1.2.2]           |
| 2   |                 | 111 m     | E-138 EP3 E3-HST-111-FB-C-01 |                      |                  |                        |                   |
| 3   |                 | 131 m     | E-138 EP3 E3-HST-131-FB-C-01 |                      |                  |                        |                   |
| 4   |                 | 160 m     | E-138 EP3 E3-HST-160-FB-C-01 |                      |                  |                        |                   |

Tabelle 4.1: Lastannahmen

## 4.3 Baustoffe

### Flansch

Kopfflansch: Stahl DIN EN 10025-3-S355N  
 $R_{eH} = 265 \text{ MPa}$  (nahtlos geschmiedet)

### Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager

Gewindestangen: DIN 976-1 M30x370-10.9 tZn  
 maximale Vorspannkraft  $F_{M,max} = 432,3 \text{ kN}$   
 (drehmomentgesteuertes Anziehen)  
 Anziehfaktor  $\alpha_A = 1,5$

Scheiben: ISO 7089 - 30 - 300HV tZn

Muttern: ISO 4032 M30 - 10 tZn

### Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

|                 |                                                                                                                                                              |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewindestangen: | DIN 976-1 M30x330-10.9 tZn<br>maximale Vorspannkraft $F_{M,max} = 512,5 \text{ kN}$<br>(drehwinkelgesteuertes Anziehen)<br>Anziehungsfaktor $\alpha_A = 1,0$ |
| Scheiben:       | ISO 7089 - 30 - 300HV tZn                                                                                                                                    |
| Muttern:        | ISO 4032 M30 - 10 tZn                                                                                                                                        |

## **5 Prüfung**

### **5.1 Umfang und Methodik**

Die Nachweise der Grenzzustände der Tragfähigkeit wurden in der eingereichten statischen Berechnung [1.1.1] für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Prüfung umfasst die Kopfflanschbaugruppe, bestehend aus dem Flansch, der Schweißnaht zwischen Turmwand und Flansch, sowie den beiden Schraubenverbindungen zwischen Kopfflansch und Azimutlager und zwischen Azimutlager und Maschinenträger.

Die Prüfung befasst sich mit den Grenzzuständen der Tragfähigkeit der Kopfflanschbaugruppe für die in Tabelle 4.1 genannten Lastkonfigurationen.

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 wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt 2012 ([2.1]) berücksichtigt. Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweißverbindungen und der Schraubenverbindungen 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 [1.1.2], [1.2.3] und [1.2.4] entnommen werden.

Die Übertragungsfunktionen für den Ermüdungsnachweis berücksichtigen einen Vorspannkraftverlust von mehr als 70 % der nominalen Schraubenvorspannkraft gemäß Abschnitt 4.3. Die für den Flansch und die Schweißnaht verwendeten Wöhlerlinien sind DIN EN 1993-1-9 [2.4] entnommen; die für die Schraubverbindungen der VDI 2230 [2.6].

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

### **5.3 Ergebnis**

Die geprüften Nachweise der Grenzzustände der Tragfähigkeit sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

### **5.4 Schnittstellen**

#### Turm

- 5.4.1 Die Auslegungslasten des Turms müssen kleiner oder gleich den Lastannahmen zum Turm sein, die in [1.2.1] zitiert werden.
- 5.4.2 Die Anforderungen in [1.1.2] hinsichtlich der Ausführung der Schweißnaht, der Neigung der Turmwand und der zulässigen Einbauten an die Turmwand sind bei der Turmauslegung zu berücksichtigen.
- 5.4.3 Die an den Kopfflansch anschließende Turmwand muss mindestens aus Stahl EN10025-2-S355J2 sein.

#### Montage & Inbetriebnahme

- 5.4.4 Die Spezifikation [1.2.5] enthält Anweisungen bezüglich der Montage der Schraubenverbindungen.

## **6 Auflagen**

- 6.1 Das für den Flansch verwendete Material soll eine minimale Streckgrenze  $R_{eH}$  265 MPa aufweisen.

## 7 Zusammenfassung

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

Diese gutachtliche Stellungnahme gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Windenergieanlagenkonfigurationen.

Konstruktive Änderungen der Kopfflanschbaugruppe sind dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen und einer Bewertung zu unterziehen. Ansonsten verliert diese gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Prüfer:

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

Dr.-Ing. C. Fischer

Freigegeben:

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

M.Sc. / SFI R. Diewald

Diese gutachtliche Stellungnahme wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Eine Veröffentlichung oder Verbreitung ist nur nach vorheriger, schriftlicher Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist nicht gestattet.