

# **Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen**

## **ENERCON**

### **E-175 EP5-HT-162-ES-C-01**

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

**Rev. 1**

- 
- 1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3821605-83-d Rev.2 vom 29.01.2025**
- 2. Hybridturm 3743008-26-d-6 Rev.3 vom 29.01.2025**
- 2.1. **Übersichtsplan Gesamtturm D02784466-1**  
2.2. **Übersichtsplan Stahlturm D02784469-2**
- 3. Flachgründung Ø 25,5m 3743008-28-d-7 Rev.3 vom 14.08.2024**
- 3.1. **Fundamentdatenblatt D02784458-3**  
3.2. **Schalplan D02784467-1**  
3.3. **Bewehrungsplan D02784468-2**
- 4. Gutachterliche Stellungnahmen**
- 4.1. **Lastannahmen für Turm und Fundament 3743008-7-d-1 Rev.2 vom 10.07.2024**
- 4.2. **Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 3743008-9-d-1 Rev.1 vom 12.12.2023**
- 4.3. **Turmkopfflansch 3743008-18-d-11 Rev.1 vom 27.03.2024**
- 4.4. **Maschinenbauliche Komponenten 3821605-40-d-4 Rev.0 vom 27.03.2024**
- 4.5. **Rotorblatt 3821605-31-d-3 Rev.1 vom 26.02.2024**
- 4.6. **Rotorblatt- Ergänzung 3821605-92-d-3 Rev.1 vom 17.06.2024**
- 4.7. **Sicherheitssystem und Handbücher 3821605-21-d-2 Rev.0 vom 27.03.2024**
- 4.8. **Elektrische Komponenten und Blitzschutz 3821605-70-d-5 Rev.0 vom 22.03.2024**

---

18.02.2024 HG

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

## 5. Revisionstabelle

Datum	Änderung
08.04.2024 Rev. 0	<b>Dokument erstellt</b> <b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3821605-83-d Rev.0 vom 28.03.2024</b>  <b>2. Hybridturm 3743008-26-d-6 Rev.1 vom 09.08.2023</b> 2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02784466-1 2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02784469-2 <b>3. Flachgründung Ø 25,5m 3743008-26-d-6 Rev.1 vom 25.03.2024</b> 3.1. Schalplan 3.2. Bewehrungsplan 1 3.3. Bewehrungsplan 2 3.4. Fundamentdatenblatt <b>4. Gutachterliche Stellungnahmen</b> 4.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 3743008-7-d-1 Rev.1 vom 22.03.2024 4.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 3743008-9-d-1 Rev.1 vom 12.12.2023 4.3. Turmkopfflansch 3743008-18-d-11 Rev.1 vom 27.03.2024 4.4. Maschinenbauliche Komponenten 3821605-40-d-4 Rev.0 vom 27.03.2024 4.5. Rotorblatt 3821605-31-d-3 Rev.0 vom 26.02.2024 4.6. Rotorblatt 3821605-92-d-3 Rev.1 vom 17.06.2024- Ergänzung 4.7. Sicherheitssystem und Handbücher 3821605-21-d-2 Rev.0 vom 27.03.2024 4.8. Elektrische Komponenten und Blitzschutz 3821605-70-d-5 Rev.0 vom 22.03.2024
27.02.2025 Rev. 1	<b>1. Prüfbescheid zur Typenprüfung 3821605-83-d Rev.2 vom 29.01.2025</b> <b>2. Hybridturm 3743008-26-d-6 Rev.3 vom 29.01.2025</b> 2.1. Übersichtsplan Gesamtturm D02784466-1 2.2. Übersichtsplan Stahlturm D02784469-2 <b>3. Flachgründung Ø 25,5m 3743008-28-d-7 Rev.3 vom 14.08.2024</b> 3.1. Fundamentdatenblatt D02784458-3 3.2. Schalplan D02784467-1 3.3. Bewehrungsplan D02784468-2 <b>4. Gutachterliche Stellungnahmen</b> 4.1. Lastannahmen für Turm und Fundament 3743008-7-d-1 Rev.2 vom 10.07.2024 <b>4.2. Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau</b> <b>4.3. Turmkopfflansch</b> <b>4.4. Maschinenbauliche Komponenten</b> 4.5. Rotorblatt 3821605-31-d-3 Rev.1 vom 15.11.2024 4.6. Rotorblatt- Ergänzung 3821605-92-d-3 Rev.1 vom 17.06.2024

18.02.2024 HG



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Datum: 29.01.2025

**Bescheid Nr.:** 3821605-83-d Rev. 2

**Objekt:** Turm und Fundament E-175 EP5-HT-162-ES-C-01  
(Bögl E23)  
Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1  
Rotorblatt Typ E-175 EP5-RB-01  
Nabenhöhe 162 m  
Windzone S, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Gültig bis:** 04.06.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3821605-83-d\_Rev.  
2\_ENERCON\_E-175 EP5-  
HT-162-ES-C-01 (Bögl  
E23).docx

Seite 1 von 8

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

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

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

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

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

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	28.03.2024	Erstfassung
1	14.08.2024	Dokumente [1], [2] und [9] aktualisiert. Aufnahme Erdbebenzone 3. Dokument [3] ergänzt.
2	29.01.2025	Dokumente [1], [4], [5], [8] und [11] aktualisiert. Dokument [9] ergänzt. Redaktionelle Änderungen.

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

### **Inhaltsverzeichnis**

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



## 1 Allgemeine Bestimmungen

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

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

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

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

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

## 2 Anlagenbeschreibung

Diese Typenprüfung gilt für die Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1 mit 162 m Nabenhöhe mit den folgenden Charakteristika:

<b>Nabenhöhe</b>	162 m
Nennleistung <sup>1</sup>	6000 kW
Windzone	S
Erdbebenzone nach DIN 4149	3
Rotorblatttyp	E-175 EP5-RB-01
Turbulenzkategorie	A
Entwurfslebensdauer*	25 Jahre

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

**Tabelle 1: Anlageneigenschaften**

---

<sup>1</sup> Die gutachtlichen Stellungnahmen zu den Lasten [4] und [5] bestätigen eine maximale Nennleistung von 6200 kW. Gemäß der gutachtlichen Stellungnahme [11] ist die Windenergieanlage elektrisch aber nur bis zu einer maximalen Nennleistung von 6000 kW zugelassen.



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

<b>Nabenhöhe</b>	162 m
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]
Fundament	Flachgründung mit Auftrieb [2]
	Tiefgründung [3]

**Tabelle 2: Zusammengehörige Prüfberichte und Gutachten**

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

### **3 Prüfgrundlage**

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

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

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

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

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

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

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

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



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

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[1]	Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 Bögl (E23)	TÜV SÜD	3743008-26-d-6 Rev. 3	2025-01-29
[2]	Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Gründung Hier: Flachgründung Ø = 25,50 m (rund) mit Auftrieb	TÜV SÜD	3743008-28-d-7 Rev. 3	2024-08-14
[3]	Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Gründung Hier: Tiefgründung Ø = 24,00 m (rund)	TÜV SÜD	3821605-55-d-7 Rev. 1	2024-08-14

Die Prüfberichte zu den Fundamenten [2] und [3] verweisen auf die Revision 2 des Prüfberichtes zum Turm [1]. Die Änderungen in Revision 3 des Prüfberichtes [1] haben keine Auswirkungen auf die Gültigkeit der Prüfberichte [2] und [3]. Somit sind Prüfberichte [2] und [3] auch mit der hier zitierten Revision 3 von [1] gültig.

## 5 Gutachtliche Stellungnahmen

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

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

Als Grundlage für die Lastannahmen gelten die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[4]	Gutachtliche Stellungnahme Evaluierung der Konstruktion - Lastannahmen Hier: Turm- und Fundamentlasten	TÜV SÜD	3743008-7-d-1 Rev. 2	2024-10-07
[5]	Gutachtliche Stellungnahme Evaluierung der Konstruktion - Lastannahmen Hier: Maschinenbau- und Rotorblattlasten	TÜV SÜD	3743008-9-d-1 Rev. 2	2024-10-07

Für die weiteren oben genannten Unterlagen gelten die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[6]	Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Maschinenbauliche Strukturen Hier: Turmkopfflansch	TÜV SÜD	3743008-18-d-11 Rev. 1	2024-03-27



[7]	Gutachtliche Stellungnahme Evaluierung der Konstruktion - Maschinenbauliche Strukturen, Maschinenbauliche Komponenten und Verkleidungen	TÜV SÜD	3821605-40-d-4 Rev. 0	2024-03-27
[8]	Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Rotorblatt Enercon E-175 EP5-RB-01	TÜV SÜD	3821605-31-d-3 Rev. 1	2024-11-15
[9]	Gutachtliche Stellungnahme Typprüfung - Rotorblatt Enercon E-175 EP5-RB-01 Hier: Initiale Statische Tests	TÜV SÜD	3821605-92-d-3 Rev. 1	2024-06-26
[10]	Gutachtliche Stellungnahme Evaluierung der Konstruktion – Handbücher, Personensicherheit, Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS)	TÜV SÜD	3821605-21-d-2 Rev. 1	2024-07-31
[11]	Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion - Elektrische Komponenten und Blitzschutz	TÜV SÜD	3821605-70-d-5 Rev. 1	2024-12-04

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I und J vollständig. Die Unterlagen gemäß Abschnitt 3.K und L sind mit der gutachtlichen Stellungnahme [10] noch nicht final bestätigt. Die in den gutachtlichen Stellungnahmen vorgegebenen Werte und 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 E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 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.

### **Auflagen**

1. Bis zur Inbetriebnahme der Serienanlage muss eine gutachtliche Stellungnahme mit Bestätigung der finalen Unterlagen gemäß Abschnitt 3.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



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

<b>Prüfbericht / Gutachtliche Stellungnahme</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Auflagen Nr.</b>
[1]	6	1 bis 25
[2]	6	1 bis 10
[3]	6	1 bis 17
[4]	6	1 bis 3
[5]	6	1 bis 3
[6]	6	1 bis 2
[7]	6	1 bis 4
[8]	6	1 bis 4
[9]	-	keine
[10]	6	1 bis 11
[11]	5	1 bis 3

**Tabelle 3: Mitgeltende Auflagen**



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 29.01.2025

**Berichts Nr.:** 3743008-26-d-6 Rev. 3

**Objekt:** Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm  
E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 Bögl (E23)  
Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1,  
162 m Nabenhöhe  
Windzone S, Erdbebenzone 3

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Gültig bis:** 04.06.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3743008-26-d-6 Rev.  
3\_ENERCON\_E-175 EP5 HT-  
162-ES-C-  
01\_Bögl\_E23\_Hybridturm\_HH16  
2m.docx

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.

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

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

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

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	05.06.2023	Erstfassung
1	09.08.2023	Dokumente [26] und [27] ergänzt. Dokumente [1], [5], [23], [A1], [A5] und [A9] revidiert. Dokumente [1] bis [4] sowie [6] bis [8] bleiben weiterhin gültig. Redaktionelle Änderungen.
2	14.08.2024	Dokument [9] hinzugefügt. Dokumente [12], [21], [22] und [28] sowie Zeichnung [A5] aktualisiert. Erweiterung der Gültigkeit für die Erdbebenzone 3.
3	29.01.2025	Dokument [10], [23] und [A2] hinzugefügt. Dokumente [13] und [A1] aktualisiert. Turmvariante mit durchgehend C100/115 ergänzt. Redaktionelle Änderungen.

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

### **Inhaltsverzeichnis**

1.	Unterlagen .....	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage .....	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 E23, Bauteil: Spannbetonturm“, Dokument Nr. D00346334, Rev. 05  
ENERCON Dokument Nr. D02784459-5, Datum 2023-08-07
- [2] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E23, Bauteil: Stahlturm“, Dokument Nr. D00346333, Rev. 01  
ENERCON Dokument Nr. D02784460-01, Datum 2023-03-24
- [3] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E23“, Dokument Nr. D00346335, Rev. 01  
ENERCON Dokument Nr. D02784462-1, Datum 2023-03-31
- [4] „Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm E23“, Dokument Nr. D00346338, Rev. 0  
ENERCON Dokument Nr. D02784463-0, Datum 2022-12-23
- [5] „Spannanweisung der Ankerstangen im Adapter, Max Bögl Hybridturm DE\_E23“, Dokument Nr. D00346336, Rev. 05  
ENERCON Dokument Nr. D02784464-5, Datum 2023-08-07
- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm E23-DE\_E23“, Dokument Nr. D00346343, Rev. 02  
ENERCON Dokument Nr. D02784461-2, Datum 2023-03-31
- [7] „Lastvergleich / Überprüfung der Turm- und Fundamentstatik aufgrund neuer Lasten „2023-02-13 Lasten“ für den Max Bögl Hybridturm E23“, Dokument Nr. D00368454, Rev. 02  
ENERCON Dokument Nr. D02784507, Datum 2023-03-17
- [8] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1
- [9] „Earthquake Matrix Germany E-175 EP5-HT-162-ES-C-01“, erstellt von ENERCON Global GmbH,  
Dokument Nr. D03031600, Rev. 00, Datum 2024-06-24
- [10] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E23, Bauteil: Spannbetonturm aus FTW Bettels“, Dokument Nr. D00847320, Rev. 1,  
ENERCON Dokument Nr. D02784497-1, Datum 2025-01-22

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

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

#### **Lasten:**

- [11] Datei „D02775088\_1.0\_en\_Calculation\_E-175\_EP5+\_E1-HT-162-ES-C-01\_LL03\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; Fatigue\_and\_Ultimate\_Loads\_Tower.xlsx“, erstellt von ENERCON Global GmbH,  
Dokument Nr. D02775088, Rev. 1.0
- [12] Datei „D02833236\_0.0\_en\_Calculation\_E-175\_EP5\_-HT-162-ES-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx“, erstellt von ENERCON



Global GmbH,  
Dokument Nr. D02833236, Rev. 0.0

- [13] „Gutachtliche Stellungnahme Evaluierung der Konstruktion – Lastannahmen Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1, Rotorblatt E175 EP5-RB-01, Nabenhöhe 162 m über Geländeoberkante (Turm E175 EP5 HT-162-ES-C-01), WEA-Klasse S und Windzone S, hier: Turm- und Fundamentlasten“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3743008-7-d-1, Rev. 2, Datum 2024-10-07

#### **Betonturm:**

- [14] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [15] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [16] „Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm“,  
Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 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
- [20] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [21] 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
- [22] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung „Hochfeste Betone der Max Bögl GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik,  
Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 26.02.2024, Geltungsdauer bis 15.02.2029
- [23] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Selbstverdichtende Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik,  
Zulassungs-nr. Z-3.51-2137, vom 01.08.2024, Geltungsdauer bis 16.02.2029
- [24] 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 10.06.2024, Geltungsdauer bis 01.06.2029



- [25] „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
- [26] „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, Datum 2022-03-22
- [27] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15

### **Stahlurm:**

- [28] Zeichnung „Turmflansch Spezifikation D-3868-150xM30“, erstellt von ENERCON Global GmbH, Zeichnung Nr. D02133917, Rev. 0.1, Datum 2021-02-05
- [29] „Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 & E-175 EP5 E2 Bolted Connection – Yaw Bearing and Tower Head Flange“, Dokument Nr. D02891599, Rev. 1.1, Datum 2023-06-02
- [30] „Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion – Maschinenbauliche Strukturen Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 Hier: Turmkopfflansch“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3743008-18-d-11, Rev. 1, Datum 2024-03-27
- [31] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, keine Dokument Nr., Rev. e, Datum 2023-05-11
- [32] „Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion - Stahlrohrturm Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 2, Datum 2023-05-23

## **2. Prüfgrundlage**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

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

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“ mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1991-1-4:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-4/NA:2010



- /4/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009“ + DIN EN 1993-1-1/A1:2014, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015
- /6/ DIN EN 1993-1-6:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010
- /7/ DIN EN 1993-1-8:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010
- /8/ DIN EN 1993-1-9:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-9/NA:2010
- /9/ DIN EN 1993-1-10:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-10/NA:2010
- /10/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /11/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /12/ DIN EN 1090-2:2018 „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-175 EP5-HT-162-ES-C-01 Bögl (E23) der Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1 besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, konischen Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 32 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. In den horizontalen Fugen zwischen Segmenten S01 und S24 werden jeweils 6 Dübel zur Übertragung von Schubkräften angeordnet. 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:	162 m
Gesamtlänge Turm:	157,97 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	9,008 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmkopfflansch:	4,036 m

Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.

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

##### **Betonteil:**

Betonfertigteile	C100/115 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ C80/95 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und ([22] bzw [23]) <sup>1</sup> eingesetzt.
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [24]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm <sup>2</sup> Nennquerschnitt gemäß [17] und [18] in Verbindung mit [19] bzw. [20] in Verbindung mit [21]

---

<sup>1</sup> Betonsorten, für die gemäß Fußnote 18 der Zulassung der erhöhte Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit in der Hinterlegung vom DIBt freigegeben wurde



Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014
Dübel in horizontaler Fuge	S235 JR+AR gemäß DIN EN 10025 und [12]
Gewindebolzen (Adapter)	M64-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /15/
Ankerring (Adapter)	S355 J2 gemäß DIN EN 10025
Lastverteilplatte (Adapter)	S355 J2 gemäß DIN EN 10025

#### **Stahlteil:**

Turmwand	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Turmfußflansch	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Schraubengarnituren	M42-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/ M56-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/

### **3.3. Lastannahmen:**

Die ursprünglich dimensionierenden Lasten für die Prüfung des Turms der oben genannten Windenergieanlage sind in [11] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. In Lastvergleich [7] wurde gezeigt, dass die Lasten aus [11] die Lasten aus [12] größtenteils abdecken. Lasterhöhungen wurden in [7] durch zusätzliche Berechnungen bewertet. Die Lasten in [12] wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [13] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [9] auf Basis der DIN EN 1998-1 /10/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /11/ in Deutschland abgedeckt.

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

Turmkopfmasse: 367 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 und des Radius gemäß Zeichnung [28] wurde in Dokument [29] durchgeführt und mit [30] 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 [25] durchgeführt und mit [26] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Randbedingungen der Nachweise in [25] 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 [13] angegebenen Gültigkeitsbereichs (0,180 Hz bis 0,212 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens  $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$  betragen.

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

### **Imperfektionen:**

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

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [16] und der rechnerischen Berücksichtigung der einseitigen Sonneneinstrahlung in [1] kann diese Abweichung akzeptiert werden.

### **Bauzustände, Querschwingungen:**

Die Standsicherheit des Turms vor dem Vorspannen der Spannglieder wurde in [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. Querschwingungen sind vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe der Ankerstangen am Adapter unzulässig. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung, siehe Auflage 5.

<b>Bauzustand / vorübergehender Zustand</b>	<b>Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit</b>	
Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	1 Jahr	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 17,08 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 12,74 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 10,97 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	30 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 8,31 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 4,06 m/s nicht überschreiten
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	456 Tage über die Lebensdauer	

**Kerbfalklassen:**

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

<b>Lage gemäß Zeichnung [8] ([A10])</b>	<b>Kerbfalkategorie / Anforderung</b>
<b>Zusätzlich an der Turmwand befestigte Teile</b>	
Kerbfalklassen gemäß [31] und [32] Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfalklassen sind auf der Turmzeichnung [8] ([A10]) definiert.	
<b>Bereich Turmkopfflansch</b>	
Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches	Keine Anschweißteile erlaubt
<b>Rundnähte (wenn nicht anderes angegeben oben und unten am genannten Blech)</b>	
Stumpfnahht zum Turmkopfflansch (innen / außen)	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 Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung folgendermaßen angesetzt:



Position	Beginn der zyklischen Belastung $t_0$	Beiwert für die Betonfestigkeit bei Erstbelastung $\beta_{cc}(t_0)$
Adapter	90 Tage	1,09
S01 - S10	77 Tage	1,08
S11 - C31	60 Tage	1,07

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd,fat}$  für hochfeste Betone gemäß [22] und [23] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{Rsk}$  für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [24] 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 [A8]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A9]

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

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

Mit der neuen Zeichnung [A2] wurde eine Turmvariante aufgenommen, bei der alle Betonfertigteile mit der Druckfestigkeitsklasse C100/115 hergestellt werden. In Dokument [10] werden die erforderlichen zusätzlichen Nachweise für diese Turmvariante geführt. Der für die Ermittlung der Eigenfrequenz in [10] rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons ist sicherzustellen (siehe Auflage 23).

In [A1] wurde die Betonfestigkeit des Starterringes auf C100/115 erhöht.

Zulassung [23] wurde als gleichwertige Alternative zu [22] ergänzt.

## **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 [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 [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 [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. Vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe der Ankerstangen sind wirbelerregten Querschwingungen grundsätzlich auszuschließen.

### **Stahlsektionen**

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



11. Die Schweißnähte des Turmes müssen den Anforderungen der Kerbfallklassen gemäß Abschnitt 5 entsprechen.
12. Im vertikalen Abstand von 300 mm zur Schweißnaht des Turmkopfflansches dürfen keine zusätzlichen Teile angeschweißt werden.
13. Beim Anschweißen der Flansche an die Turmwand ist fachgerecht vorzuwärmen.
14. Die Prüfung der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

### **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 [17] bis [21] sowie für die Hochfestbetone [22] und [23] und geschweißten Bewehrungselemente [24] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
18. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version der zitierten Zulassungen [17] bis [24] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit der hier zitierten Version nachzuweisen.
19. 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 Vorspannens der Spannglieder mindestens die Festigkeit aus Kap. 1.2 von [3] betragen.
20. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
21. 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 Vorspannveaus sicherzustellen.
22. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung müssen Adapter und Wandelemente das Mindestalter gemäß Abschnitt 5 aufweisen. Die dabei rechnerisch angesetzten Werte für die Nacherhärtung des Betons  $\beta_{cc}$  sind durch erweiterte Erstprüfungen und Produktionskontrollen nachzuweisen. Für die Wandelemente ist eine stichprobenartige Kontrolle ausreichend.
23. Der für die Ermittlung der Eigenfrequenz rechnerisch angesetzte E-Modul des Betons zwischen 46.000 MPa und 49.900 MPa ist im Mittel über alle Turmsegmente eines Turms sicherzustellen.

### **Prüfintervalle**

24. Die planmäßige Vorspannung der Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt-Richtlinie /1/ (Abschnitt 13.1 Anmerkung 1) erneut zu kontrollieren und



ggf. nachzuspannen. Wenn die 2. Vorspannstufe der Ankerschrauben des Adapters innerhalb dieses Zeitraums aufgebracht wird, kann die zuvor genannte Prüfung dieser Ankerschrauben hierdurch ersetzt werden.

25. 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)**

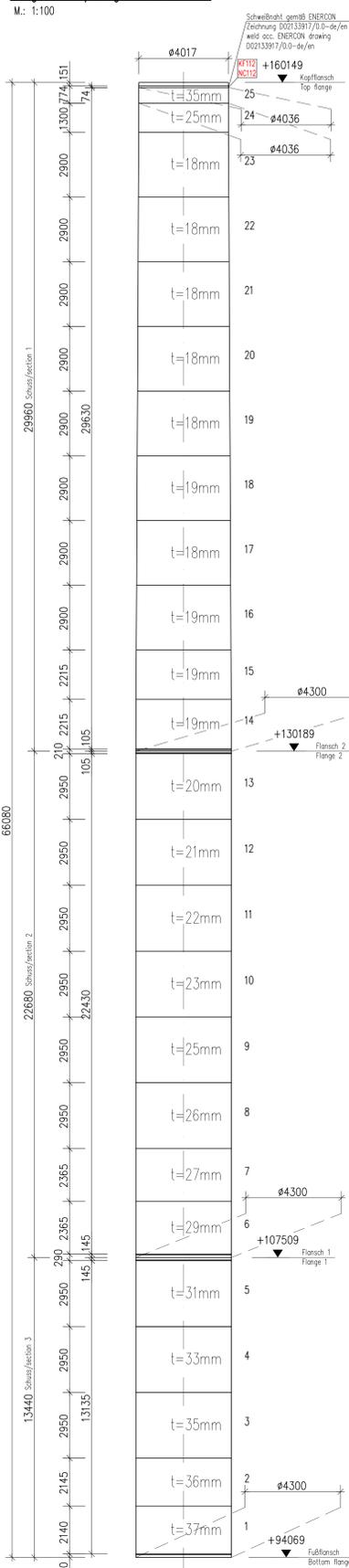
Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-E23-001-XX-X- Uebersicht ENERCON Dok. Nr. D02784466-2	b	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 162.0 m, Spannglieds. „SUSPA“	2024-07-15
[A2]	DE-E23-001-0747-XX-X- Uebersicht ENERCON Dok. Nr. D02784496-1	a	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 162.0 m, Spannglieds. „SUSPA“	2025-01-22
[A3]	DE-E23-095-XX-X- Schalplan ENERCON Dok. Nr. D02784470-0	-	Schalplan Rohteile C- und S-Ringe	2023-01-18
[A4]	DE-E23-096-XX-X- Bewehrung ENERCON Dok. Nr. D02784471-1	a	Bewehrungsplan Rohteile C- und S- Ringe (3-teilig)	2023-03-31
[A5]	DE-E23-AE1-K1-X- Schalplan ENERCON Dok. Nr. D02784473-1	a	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-03-31
[A6]	DE-E23-AE1-K1-X- Bewehrung ENERCON Dok. Nr. D02784472-3	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2024-04-12
[A7]	DE-E23-M008- Montageplan ENERCON Dok. Nr. D02784474-0	-	Fugendetailplan	2023-01-19
[A8]	XX-XXX-M64-HV-1- Schalplan	c	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decordynbe- schichtung T0177772	2021-01-25
[A9]	XX-XXX-M64-HV-2- Schalplan	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpf- schlauch T0177773	2021-01-25

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

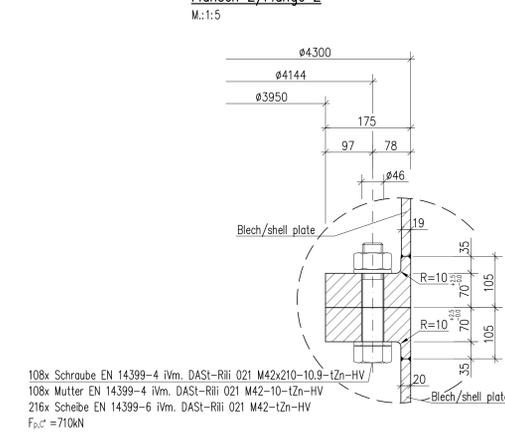
Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A10]	DE-E23-022-XX-X- Uebersicht ENERCON Dok. Nr. D02784469-2	b	Übersichtsplan Stahlturm	2023-07-13



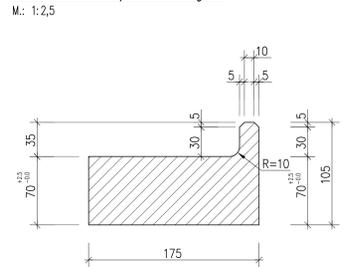
**Längsschnitt/Longitudinal section**



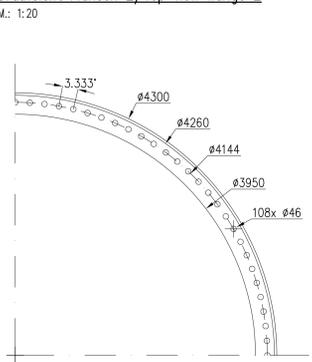
**Flansch 2/Flange 2**



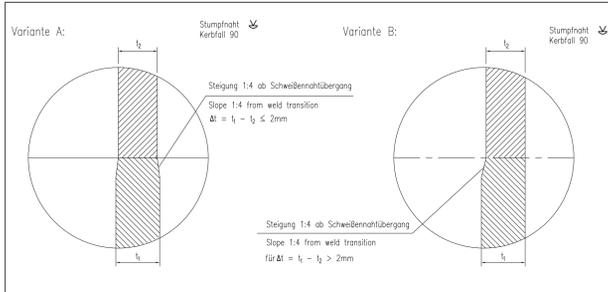
**Detail Flansch 2/Detail flange 2**



**Draufsicht Flansch 2/Top view flange 2**



Sng	Höhe [m]	Schuss [d]	t [mm]	erf. KFK	Stahlsturm	KFK - Butzen				Können die Butzen verwendet werden?					
						30/M6	30/M10	30/M16	40/M16	40/M20	30/M6	30/M10	30/M16	40/M16	40/M20
Korflange	2,900	23	18	KF50	87	87	89	86	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	22	18	KF68	87	87	89	86	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	21	18	KF68	87	87	89	86	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	20	18	KF69	87	87	89	86	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	19	18	KF71	87	87	89	86	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	18	19	KF74	88	88	90	87	88	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	17	18	KF73	87	87	89	86	87	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,900	16	19	KF81	88	88	90	87	88	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,215	15	19	KF80	88	88	90	87	88	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,215	14	19	KF83	88	88	90	87	88	ja	ja	ja	ja	ja	
Mittelflange	2,950	13	20	KF88	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,950	12	21	KF88	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,950	11	22	KF89	89	90	92	88	90	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,950	10	23	KF90	89	90	92	89	90	nein	ja	ja	nein	ja	
	2,950	9	25	KF88	89	91	93	89	91	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,950	8	26	KF89	89	91	92	89	91	ja	ja	ja	ja	ja	
	2,365	7	27	KF90	89	90	92	89	90	nein	ja	ja	nein	ja	
	2,365	6	29	KF89	89	89	91	88	89	ja	ja	ja	ja	ja	
	Fußflange	2,950	5	31	KF89	89	89	90	88	89	ja	ja	ja	nein	ja
		2,145	2	36	KF89	87	88	89	87	87	nein	nein	ja	nein	nein
2,140		1	37	KF89	87	88	89	87	87	nein	nein	ja	nein	nein	



Kopfflansch gemäß ENERCON Zeichnung: D02133917/0.0-de/en  
 Top flange acc. so ENERCON drawing: D02133917/0.0-de/en

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

Mindestabstand der Anbauteile zu anderen Schweißnähten: 100mm.  
 Hauptlängsnähte der Stahlurwand um mind. 90° versetzen.  
 minimum distance of attachments to other weldings: 100mm.  
 Main longitudinal weldings of the steel wall at 90° offset.

Bezugstemperatur:  $T_{Ed} = -30°C$   
 Lowest component temperature:  $T_{Ed} = -30°C$

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

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

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

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

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

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

- Ebenheitsabweichung über gesamten Umfang  $\leq 2.0$  mm.
- Flatness deviation over circumference  $\leq 2.0$  mm.
- Kurzwelligkeit  $\leq 1.0$  mm/30°
- Short waviness  $\leq 1.0$  mm/30°
- Neigungen  $\alpha_s$  der Flanschaußenflächen zur Turmwand nach dem Vorspannen  $0,0^\circ-0,7^\circ$ .
- Taper  $\alpha_s$  to the inside of the connection surface of each flange after pre-loading  $0,0^\circ-0,7^\circ$ .
- Neigung  $\alpha_s$  der Flanschaußenflächen nach dem Vorspannen  $\leq 2\%$
- Taper  $\alpha_s$  of flange outer surface after pre loading  $\leq 2\%$

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

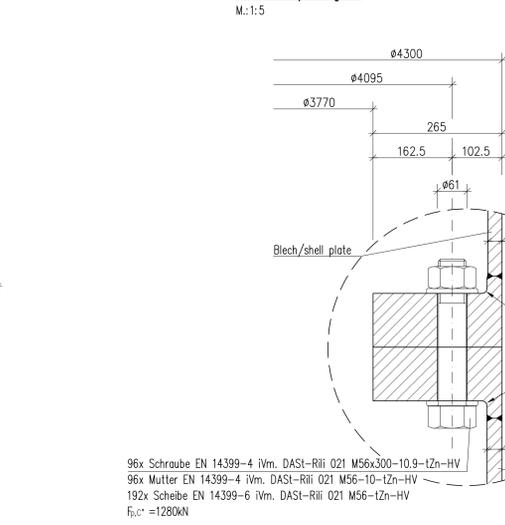
Schweißnähte nach DIN EN ISO 5817 Bewertungsgruppe B.  
 Welds in accordance with DIN EN ISO 5817 level B.

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

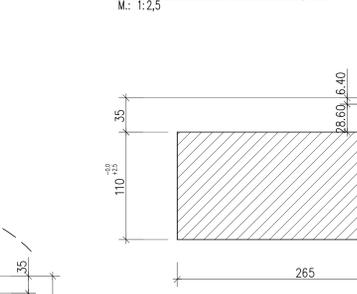
Werkstoff: Abnahmeprüfzeugnis gem. DIN EN 10204 3.1.  
 Material: acceptance test certificate in accordance with DIN EN 10204 3.1.

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

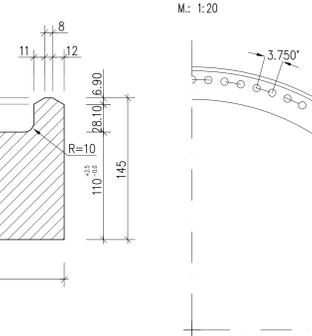
**Flansch 1/Flange 1**



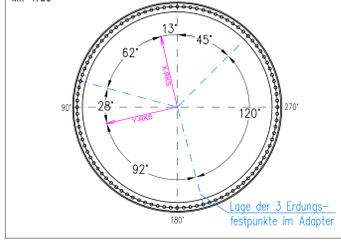
**Detail Flansch 1/Detail flange 1**



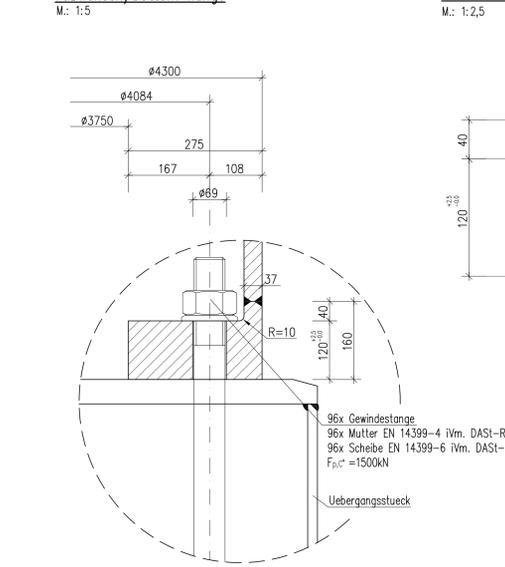
**Draufsicht Flansch 1/Top view flange 1**



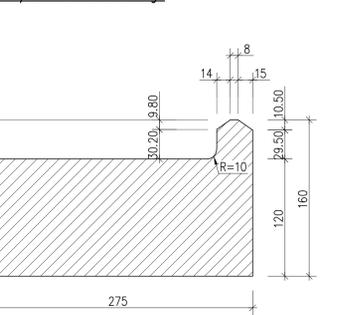
**Lage Erdungsfestpunkte**



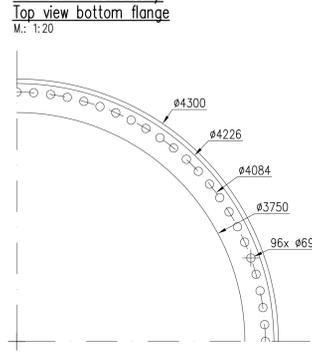
**Fußflansch/bottom flange**



**Detail Fußflansch/Detail bottom flange**



**Draufsicht Fußflansch/Top view bottom flange**



Materialien/Materials		
Bauteil/ Component	Material	zusätzliche Anforderungen/ additional Requirements
Turmbleche Tower Shell Plates	DIN EN 10025-2 - S355J2+N	warm gewalzt, normalisiert (oder normalisierend gewalzt) hot rolled, normalized (or normalizing rolled)
Flansche Flanges	DIN EN 10025-3 - S355NL	Für Flansche darf nur ein nahtlos gewalzter Ring oder ein einseitig gewalzter Slab verwendet werden. It is only permissible to use a seamless rolled ring or an all-round rolled bar for flanges.

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

\*) Maßgebend ist in jedem Fall die Bauteiltemperatur  $T_{Ed}$ , die am Bauteil (konkret am Flansch) nachzuweisen ist.  
 In any case, the decisive factor is the component temperature  $T_{Ed}$ , which must be verified on the component (specifically on the flange).

**Stahlurm Massen ohne Inneneinbau (kg)**

Sektionsgewicht Section weight	Bleche Shells	Oberer Flansch Top flange	Unterer Flansch Bottom flange
Topsektion Top section	61060	55176	4564
Mittelsektion Middle section	60916	56581	1320
Fußsektion Bottom section	53623	47177	3015
Gesamtgewicht Total weight	175599	158934	16665

1YPENPRÜFUNG Geltungsdauer  
 5 Jahre/Wiedervorlage bis ... 04.08.2028

3743008-26-d-6 Rev. 1  
 In bautechnischer Hinsicht geprüft.  
 Seite #/Anzahl vom 09.08.2023

München  
 TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
 Prüfstelle für Stanzschweißen  
 von Windenergieanlagen

ENERCON Windenergieanlage  
 E-175 EPE-HT-162-ES-C-01  
 DIBI 2015 WZ S / IEC WTG S

ENERCON wind turbine generator  
 E-175 EPE-HT-162-ES-C-01  
 DIBI 2015 WZ S / IEC WTG S

Bezeichnung	Bezeichnung	Bezeichnung	Bezeichnung
gepr. / Retensp.	12.01.2023	Land / [unl.]	Ringf. / Segm.
freig. / Betz	12.01.2023	DE / E23	022 / XX

**MAX BÖGL**  
 Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr: Max Bögl  
 Bauvorhaben: Windkraftanlage wind turbine generator  
 Bauteile: Übersichtsplan Stahlurm  
 layout steel tower

Projekt Nr.: 21683  
 Blätter: 1,19-84m  
 Maßstab: 1:100; 1:50; 1:5; 1:2,5

erst.: Weiler  
 gepr.: Retensp.  
 freig.: Betz

Dat.: 12.01.2023  
 Dat.: 12.01.2023  
 Dat.: 12.01.2023

Boeig-Planbezeichnung  
 002784469-2

Boeig-Planbezeichnung  
 002784469-2



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE  
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

## Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 14.08.2024

**Prüfnummer:** 3743008-28-d-7 Rev. 3

**Objekt:** **Prüfung der Standsicherheit - Gründung**  
Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5  
Turm: E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 Bögl (E23)  
Windzone S, Erdbebenzone 3  
**Hier: Flachgründung Ø = 25,50 m (rund) mit Auftrieb**

**Prüfgrundlage:** DIBt-Richtlinie 2012

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

**Gültig bis:** 04.06.2028

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3743008-28-d-  
7\_Rev.3\_Enercon\_E-175 EP5-  
HT-162-ES-C-01 Bögl-  
E23\_FGmA\_25,5m\_MY.docx

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.

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

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

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

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





Revision	Datum	Änderungen
0	05.06.2023	Erstfassung
1	09.08.2023	Dokumentname und Turbinenbezeichnung angepasst. Neue Revision der Dokumente [2] und [8] sowie des Prüfberichts [10] eingeführt.
2	25.03.2024	Dokumente [2] und [9] aktualisiert. Dokumente [1] sowie [3] bis [5] bleiben weiterhin gültig. Redaktionelle Änderungen.
3	14.08.2024	Erweiterung der Gültigkeit für die Erdbebenzone 3. Dokument [10] aktualisiert. Referenzen /6/ und /7/ hinzugefügt.

### Inhaltsverzeichnis

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



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

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

- [1] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm E23, Bauteil: Fundament mit Auftrieb“, Projekt Nr. 21683-E23, Rev. 2, vom 2023-04-12, ENERCON Dokument Nr. D02784465-2
- [2] „Fundamentdatenblatt, Max Bögl Hybridturm DE-E23, E-175 EP5 HT-162-ES-C-01 Flachgründung“, Projekt Nr. 21683-E23, Rev. 3, vom 2024-02-28, ENERCON Dokument Nr. D02784458-3
- [3] „Schalplan Fundament Ø 25,50m“, Plan Nr. DE\_E23\_005\_XX\_X\_Schalplan, Rev. A, vom 2023-04-19, ENERCON Dokument Nr. D02784467-1
- [4] „Bewehrung Fundament Ø25.50m“, Plan Nr. DE\_E23\_006\_XX\_X\_Bewehrung, Rev. B, vom 2023-04-19, ENERCON Dokument Nr. D02784468-2
- [5] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm E23“, Kapitel 10, Projekt Nr. 21683-E23, Rev. 1, vom 2023-03-31, ENERCON Dokument Nr. D02784462-1

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm-DE\_E23, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683-DE\_E23, Rev. 2, vom 2023-03-31, ENERCON Dokument Nr. D02784461-2
- [7] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, vom 2021-03-02
- [8] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 2, vom 2022-03-22
- [9] „Übersichtsplan Gesamtturm, NH 162.0m, Spannglieds. “SUSPA““, erstellt von Max Bögl Wind AG, Plan Nr. DE\_E23\_001\_XX\_X\_Uebersicht, Rev. a, vom 2023-04-03, ENERCON Dokument Nr. D02784466-1
- [10] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 Bögl (E23), Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5, 162 m Nabenhöhe Windzone S, Erdbebenzone 3“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3743008-26-d-6, Rev. 2, vom 2024-08-14



## **2. Prüfgrundlage**

### **2.1. Angewendete Richtlinien und Normen**

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Richtlinien und Normen:

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

### **2.2. Berücksichtigte Richtlinien und Normen**

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

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

## **3. Beschreibung**

Der Hybridturm E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 Bögl (E23) 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 sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockelring ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

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

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, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsklassen XC4, XD1, XF1, XA1, 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 [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 sind gemäß Dokument [10] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt.

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/ berücksichtigt.

### 3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Dokument [2]  $k_{\varphi, \text{dyn}} \geq 200 \text{ GNm/rad}$  und  $k_{\varphi, \text{stat}} \geq 40 \text{ GNm/rad}$ .

Der anstehende Baugrund muss gemäß [2] mindestens eine Bodenpressung von 292 kN/m<sup>2</sup> aufnehmen können (charakteristischer Wert, Kantenpressung).

Der höchste für den Lastfall Auftrieb in [1] nachgewiesene Wasserstand liegt 2,179 m unter Sockeloberkante.

## 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 2.1 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.

### **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.

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

Die Gültigkeit der Lasten für Erdbebenzone 3 wurde in einer neuen Revision des Typenprüfberichts zum Turm [10] ergänzt und für das Fundament übernommen. Die zugehörigen Normen /6/ und /7/ wurden hinzugefügt. Die Dokumente [1] bis [5] bleiben weiterhin gültig.



## **6. Prüfergebnis**

Die Berechnungen und die zugehörigen Konstruktions- und Bewehrungszeichnungen für das Fundament entsprechen den in Abschnitt 2.1 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

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

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

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

#### **Baugrund**

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden.
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.



**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 green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

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

i. V. S. Mayer

Verfasser / Author:	 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr. / No.:
		21683-E23
WEA / WT: Enercon E-175 EP5	NH / HH: 162 m	Hybridturm / Tower: DE-E23
		Datum / Date:
		28.02.2024

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer

5 Jahre/Wiedervorlage bis ...04.06.2028

## Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

### Max Bögl Hybridturm DE-E23

#### E-175 EP5 HT-162-ES-C-01 Flachgründung

Projektnummer /  
*Project number:* 21683-E23

Documentnummer /  
*Document number:* D00346347

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

Windenergieanlage /  
*Wind turbine:* Enercon E-175 EP5

Nabenhöhe /  
*Hub height:* 162 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:* 28.02.2024

Enercon Dokumentenr. /  
 Enercon Document no.: D02784458-3

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

siehe Prüfbericht Nr.: 3743008-28-d-7 Rev. 2

vom: 25.03.2024

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
 Prüfamts für Standsicherheit  
 von Windenergieanlagen

Der Bearbeiter:



Der Leiter:



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

## Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Revision / <i>Revision</i>	Datum / <i>Date</i>	Beschreibung / <i>Description</i>	Bearbeiter / <i>Author</i>
00	23.12.2022	Erstausgabe / <i>First release</i>	J. Goycoolea
01	31.03.2023	Lasten 2023-02-13 hinzugefügt / <i>Loads from 2023-02-13 added</i>	J. Goycoolea
02	13.07.2023	Benennung der Windenergieanlage im Titel korrigiert / <i>Name of the wind turbine in the title corrected</i>	R. Braun
03	28.02.2024	Innendurchmesser des Weichschichtsrings hinzugefügt / <i>Inner diameter of soft layer ring added</i>	U. Vitola

Datum / *Date*: 28.02.2024

Aufgestellt:



i.A. Joaquin Goycoolea Castillo

Aufgestellt /  
*Prepared by*:



i.A. Roman Braun

Geprüft und freigegeben /  
*Checked and approved by*:

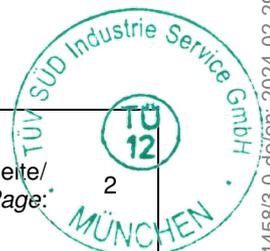


i.A. Thorsten Betz

Bauteil /  
*Component*: Fundament / *Foundation*

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

Seite/  
*Page*: 2



**Inhaltsverzeichnis / Table of contents**

**Änderungsverzeichnis / Table of revision ..... 2**

**Inhaltsverzeichnis / Table of contents..... 3**

**1 Allgemeines / General..... 4**

**2 Geometrie, Material und Massen / Geometry, material and dimensions..... 5**

**3 Belastung / Loading..... 6**

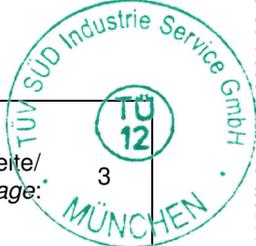
3.1 Eigengewicht, Erdüberschüttung und Auftrieb / *Own weight, soil cover and buoyancy*.....6

3.2 Turmlasten / *Tower loads* .....7

3.2.1 BS-P, BS-T und BS-A / *BS-P, BS-T and BS-A*.....7

3.2.2 GZT und GZG / *ULS and SLS*.....8

**4 Anforderungen an den Baugrund / Soil requirements ..... 9**

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

# 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

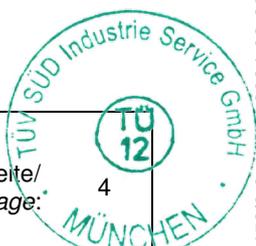
### Beschreibung / Description

Turmtyp / Tower type	Max Bögl hybrid tower E23
Turbinenhersteller / Manufacturer	Enercon
Land / Country	DE
Leistung / Power	6.XX MW
WEA / Wind turbine	E-175 EP5 E1
Nabenhöhe / Hub height	162 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:

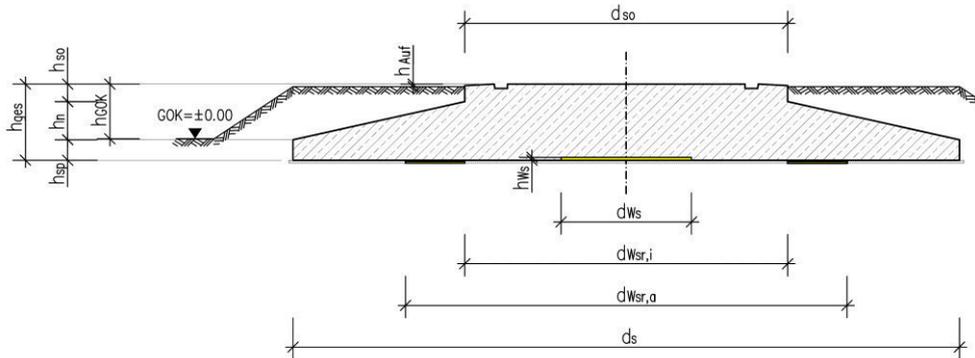
Enercon\_DE\_X,XXMW\_E-175\_162,0m\_RT2,0\_a

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

## 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 for the foundation draft are defined in this chapter.



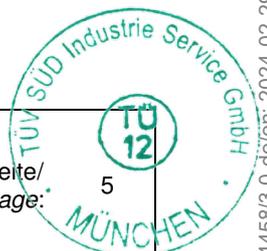
### Geometrie / *Geometry*

#### Betonkörper / *Concrete body*

Außendurchmesser / <i>Outer diameter</i>	$d_s$	=	25,50 m
Sockeldurchmesser / <i>Base diameter</i>	$d_{so}$	=	11,88 m
Äußere Weichschichtsringdurchmesser / <i>Soft layer ring outer diameter</i>	$d_{wsr,a}$	=	15,88 m
Innere Weichschichtsringdurchmesser / <i>Soft layer ring inner diameter</i>	$d_{wsr,i}$	=	11,88 m
Weichschichtdurchmesser / <i>Soft layer diameter</i>	$d_{ws}$	=	4,40 m
Fundamenthöhe / <i>Foundation height</i>	$h_{ges}$	=	2,90 m
Spornhöhe / <i>Outer height</i>	$h_{sp}$	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / <i>Nose incline height</i>	$h_n$	=	1,60 m
Sockelhöhe / <i>Base height</i>	$h_{so}$	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / <i>Separation foundation top edge - ground level</i>	$h_{GOK}$	=	2,179 m
Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungoberkante / <i>Separation foundation top edge - soil cover top edge</i>	$h_{Auf}$	=	0,10 m
Weichschichtsdicke / <i>Soft layer thickness</i>	$h_{ws}$	=	0,05 m

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

Seite / *Page:* 5



### 3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentvorbemessung angesetzt.

Die Belastung aus der Windenergieanlage wurden gemäß der E-175 EP5 Lastrechnung D02775088\_1.0\_en\_Berechnung\_E-175 EP5+\_E1-HT-162-ES-C-01\_LL03\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; Fatigue\_and\_Ultimate\_Loads\_Tower und D02833236\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175\_EP5\_-HT-162-ES-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.zip angesetzt.

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

The loads from the wind turbine were applied according to E-175 EP5 load calculation D02775088\_1.0\_en\_Berechnung\_E-175 EP5+\_E1-HT-162-ES-C-01\_LL03\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; Fatigue\_and\_Ultimate\_Loads\_Tower and D02833236\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175\_EP5\_-HT-162-ES-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.zip.

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

##### Betonvolumen / Concrete weight

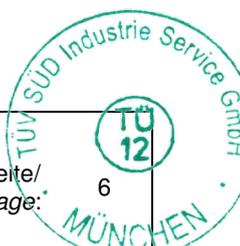
Betonwichte / <i>Concrete specific weight</i>	$\gamma_c$	=	25,0 kN/m <sup>3</sup>
Betongewicht / <i>Concrete weight</i>	$G_c$	=	22 041 kN

##### 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>	$t_{Max\ddot{U}s,aus}$	=	2,100 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>	$G_{Max\ddot{U}s}$	=	10 056 kN

##### Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / <i>Buoyancy height</i>	$h_{Gw,max}$	=	0,721 m
Auftriebskraft / <i>Buoyancy force</i>	$G_{Gw,max}$	=	-3 682 kN

Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	 Seite / <i>Page:</i> 6
Block / <i>Chapter:</i>	3 Belastung / <i>Loading</i>	

## 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.

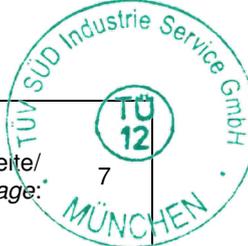
Those are characteristic values at the foundation bottom. Soil cover and buoyancy are not included in these values and must be added accordingly.

<b>LF / LC</b>	<b>BS-P</b>	<b>BS-T</b>	<b>BS-A</b>
<b>V<sub>k</sub> [kN]</b>	41 477	41 395	41 034
<b>H<sub>k</sub> [kN]</b>	1 424	1 428	1 761
<b>M<sub>b,k</sub> [kNm]</b>	219 556	188 499	242 010

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 / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	 Seite/ Page: 7
Block / <i>Chapter:</i>	3 Belastung / <i>Loading</i>	

### 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 Teilsicherheitsbeiwerts an der Oberkante der Gründung. Fundamenteigengewicht, Turmvorspannung, Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaige Anbauteile 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.

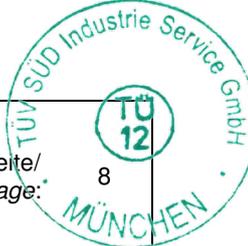
The internal forces consider already the influence of the II. order theory with linear elastic behaviour including elastic dynamic loading in the foundation soil

LF / LC	GZT / ULS	D.3
$V_{Ed}$ [kN]	25 640	19 436
$H_{Ed}$ [kN]	1 922	1 133
$M_{b,Ed}$ [kNm]	284 893	160 284
$M_{t,Ed}$ [kNm]	2 243	3 813
$\gamma_E$	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 / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	 Seite / <i>Page:</i> 8
Block / <i>Chapter:</i>	3 Belastung / <i>Loading</i>	

## 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.

Wegen Anforderungen der Eigenfrequenzen musste die Bodendrehsteifigkeit erhöht werden.

Due to eigenfrequency requirements the soil rotational stiffness had to be increased.

### Drehfedersteifigkeit / *Rotation spring stiffness*

Mindestwert / *Minimal value*

Statische Drehfeder / *Static rotational spring*

$$k_{\varphi, \text{stat}} = 40\,000 \text{ MNm/rad}$$

Dynamische Drehfeder / *Dynamic rotational spring*

$$k_{\varphi, \text{dyn}} = 200\,000 \text{ MNm/rad}$$

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

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

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

### Bodenpressung / *Soil bearing pressure*

Erforderlicher Widerstand / *Required resistance*

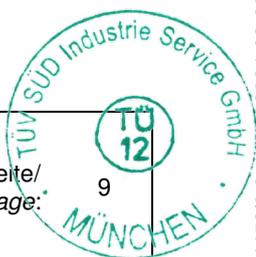
Maximale Randdruckspannung im BS-P / *Maximal edge soil pressure in BS-P*

$$\sigma_{\text{max, BS-P}} = 262 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{max, BS-A}} = 292 \text{ kN/m}^2$$

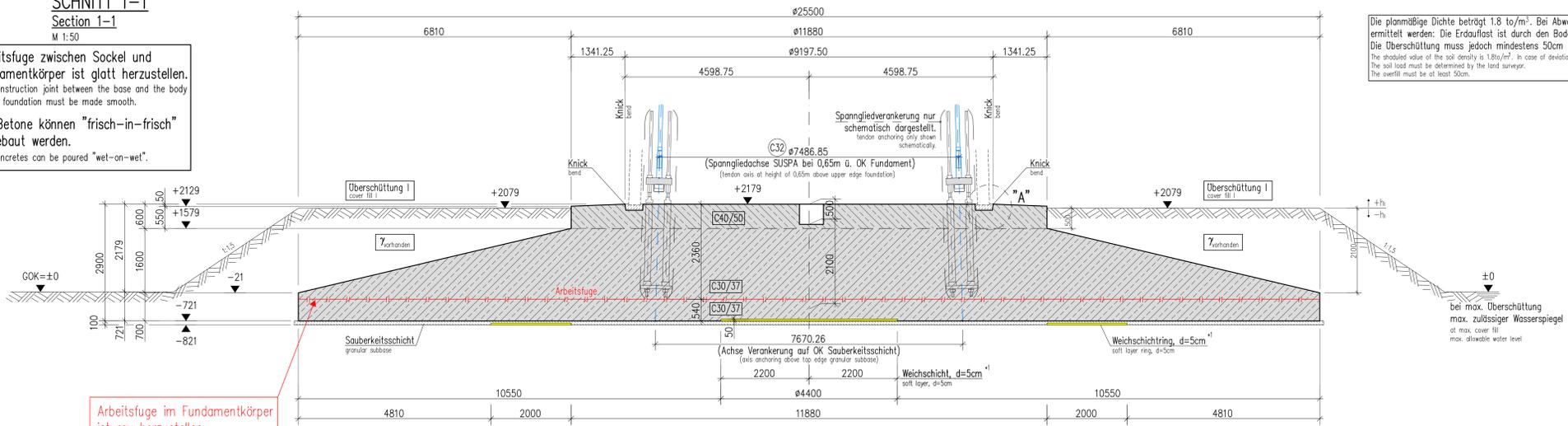
Diese Werte sind vom Bodengutachter zu bestätigen.  
/ *These values must be confirmed by the geotechnical expert.*

Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	 Seite/ Page: 9
Block / <i>Chapter:</i>	4 Anforderungen an den Baugrund / <i>Soil requirements</i>	

**SCHNITT 1-1**

Section 1-1  
M 1:50

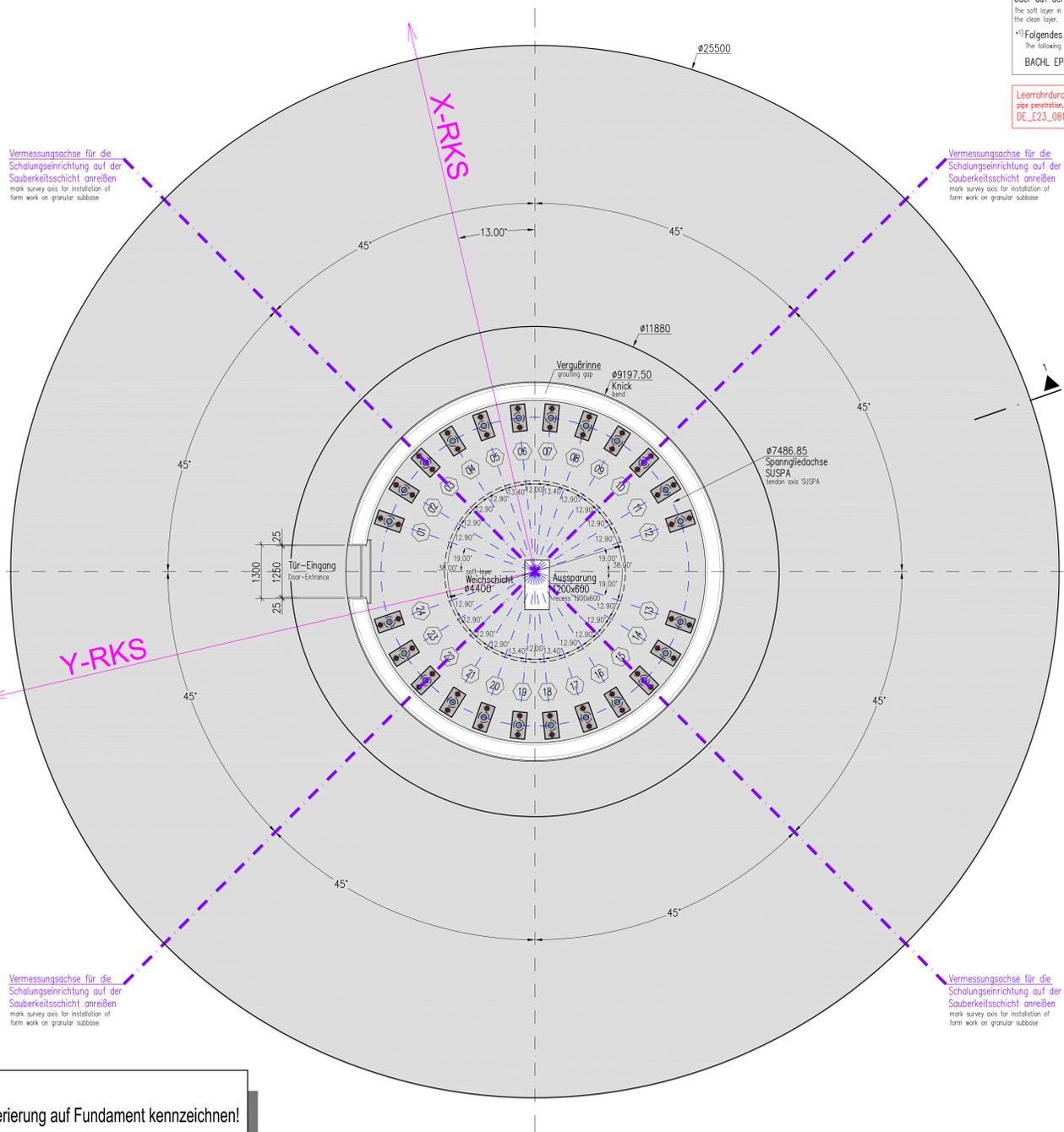
Arbeitsfuge zwischen Sockel und Fundamentkörper ist glatt herzustellen. The construction joint between the base and the body of the foundation must be made smooth.  
Die Betone können "frisch-in-frisch" eingebaut werden. The concretes can be poured "wet-on-wet".



Arbeitsfuge im Fundamentkörper ist rau herzustellen. The construction joint in the foundation body must be rough.

**DRAUFSICHT**  
TOP VIEW  
M 1:50

Detail Tür "Vergüßbrett" Detail door "overmoulding board" siehe Plan DE\_E23\_081\_XX\_X\_Ubersicht



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

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

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

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

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

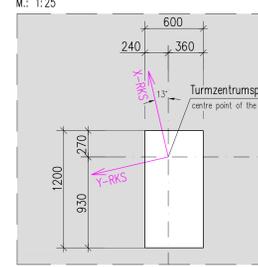
Sichtbare Betonkanten 1,0/1,0cm fassen Visible concrete edges chamfer 1.0/1.0cm

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

erforderliche Erdaufst auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I:  
 $A_{\text{Aufst}} = \frac{\pi}{4} \times (25,50^2 - 11,88^2) = 399,9 \text{ m}^2$   
 $V_{\text{Aufst}} = 558,7 \text{ m}^3$   
 $G_{\text{Aufst}} = V \times \gamma = 558,7 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ t/m}^3 = 1005,7 \text{ t}$   
 $h \text{ [m]} = \frac{G_{\text{Aufst}} - V_{\text{Aufst}}}{A_{\text{Aufst}}} = \frac{1005,7 \text{ [t]} - 558,7 \text{ [m}^3]}{399,9 \text{ [m}^2]}$

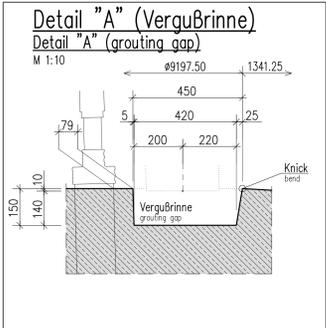
Volumen Beton:  
 volume concrete: 880m³  
 Fundamentkopf = 64m³  
 Fundamentplatte = 816m³  
 Gewicht: weight: 22000 kN

**DRAUFSICHT AUSSPARUNG**  
TOP VIEW RECESS  
M: 1:25



Die Weichschicht in der Fundamentmitte kann in oder auf der Sauberkeitsschicht angeordnet werden. The soft layer in the foundation center can be placed in or on top of the clean layer.  
 \*) Folgendes Material ist zu verwenden: The following material must be used:  
 BACHL EPS Wärmedämmplatten EPS040 W/DI

Leerrohrdurchführung, Einbauteile, etc. siehe Plan DE\_E23\_081\_XX\_X\_Ubersicht



Die erforderliche Erdaufst auf dem Fundament, im Errichtungszustand, ist aus dem Statikkapitel "Bauzustände" zu entnehmen. The required earth fill on the foundation in the erection process can be taken from the structural analysis, chapter "construction stages".

Die maximale Schiefstellung infolge Baugrundebedingungen 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:	$\sigma_{s,k} = 262 \text{ kN/m}^2$
Im Lastfall BS-T nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung: In loadcase BS-T, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:	$\sigma_{s,k} = 229 \text{ kN/m}^2$
Im Lastfall BS-A nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung: In loadcase BS-A, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:	$\sigma_{s,k} = 292 \text{ kN/m}^2$

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

Der Grundbruchnachweis ist vom Baugrundgutachter zu erbringen. Dabei ist die mittlere Bodenpressung mit den Lasten aus folgender Tabelle zu ermitteln. Additionally the loads stemming from the earth cover and the buoyancy according to the design need to be taken into account for the respective wind turbine location.

Maximale charakteristische Lasten ( $\gamma=1,00$ ) in der Sohllage der Gründung (inkl. Erdaufst, Auftrieb und etwaiger Anbauteile) Maximum characteristic loads ( $\gamma=1,00$ ) in the joint between bottom of foundation and soil (incl. earth cover fill, hydrostatic uplift and possible mounting parts)

	BS-P (DIN 1054:2010)	BS-T (DIN 1054:2010)	BS-A (DIN 1054:2010)
Vk [kN]	41477	41395	41034
Hk [kN]	1424	1428	1761
Vk [kNm]	219556	188499	242010

Zementart:	CEM II-Zemeste alleine (exclusiv) oder CEM II-Zemeste mit Flugasche (cement with fly ash) oder CEM II-Zemeste mit Flugasche (cement with fly ash)
Ausführung:	Massenbeton nach DAStB-Richtlinie: Massive Bauteile aus Beton Fundamentausführung nach / Bulk concrete according to DAStB-guideline: concrete structural elements Foundation construction according to: DIN EN 1206-1, Vorn. DIN 1045-2, DIN EN 1992-1-1 & EN 13670, Vorn. DIN 1045-3

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

Grundlegende Anforderungen: Minimalwert des Grobkorns der Gesteinskörnung: Fundamentkopf: verbleibender Fundamentkörper: siehe Betonantragungskonzept Klasse des Chloridgehaltes: 0, 0,20 Frischbetontemperatur nach Angabe Betonantragungsstelle jedoch maximal 30°C

Zusätzliche Anforderungen: Kriech- und schrumpfarmen Beton für die Außenbauteile. Geringe Hydratationswärme. Wegen der großen Betonmengen ist zur Vermeidung schockartiger Auswirkungen stützige Abdeckschichten und Schweißnetze an Betonbauteile einzuschließen. Betonanzug mit geringer Wärmenwicklung während des Hydrationsprozesses wählen. Probekörper sind gemäß bauteilbezogenen Prüfpunkten zu erstellen. Fundamentoberfläche nachverdichten.

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

Die Ausführungsarbeiten sind von einem Fachingenieur zu überwachen. Die Betonzusammensetzung ist durch entsprechende Lieferzettel zu bestätigen.

Die Betonbehandlungsmaßnahmen sind mit dem Betontechnologien auf die Bauteilbeschaffenheit und die Witterungsverhältnisse abzustimmen.

Fundamental requirements: maximal grain size of the aggregate: foundation cap: remaining foundation body: see casting concept class of the chlorid concentration: 0, 0,20 Temperature of fresh concrete according to expert for concrete technology but not higher than 30°C

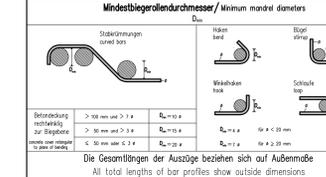
Additional requirements: low shrinking and creeping concrete shall be used for outside comp. low heat of hydration. An expert on concrete technology has to be consulted to avoid damage due to shrinkage, hydration or possible aggressive components of the ground. A concrete formula with low thermal development during the hydration process has to be chosen. Concrete test-specimens must be produced in accordance to the building-site related inspection plan. Repris and mechanical abrade the foundation surface.

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

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

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

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



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

**Baustoffe**  
Building materials

letzte Stahlrohrposition find steel bar position	Betonstahl: B500B reinforcement steel: prof./country: DE, 488-1 + 28 EN 10082
letzte Mattenposition find mesh position	Betonfestigkeitsklasse: C30/37 & C40/50 Concrete strength: prof./country: DE, 28 EN 1992-1-1
Betondeckung [mm] Concrete cover	Expositionsklasse: Exposition class: Verankerung: c <sub>req</sub> Ankerverankerung: d <sub>req</sub> Hook anchorage: d <sub>req</sub>
innen inside	XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, XF2
außen/außenflanke outside/outside flange	XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, XF2
unten below	XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, XF2

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

- dynamische Drehfeder der Gründung:  $K_{s,d} \geq 200000 \text{ MNm/rod}$  dynamic rotational stiffness  
 - statische Drehfeder der Gründung:  $K_{s,s} \geq 40000 \text{ MNm/rod}$  static rotational stiffness

ZUGEHÖRIGE PLÄNE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR.: DE_E23_001_XX_X_Ubersicht	Übersichtsplan Gesamturm layout complete tower
DE_E23_003_XX_X_Erdung	Erdungskonzept Übersichtsplan general plan with earthing concept
DE_E23_004_XX_X_Erdung	Erdung für Fundament grounding for foundation
DE_E23_006_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament foundation reinforcement plan
DE_E23_081_XX_X_Ubersicht	Übersichtsplan Leerrohraustritt layout pipe penetration
M578	Spanngliedverankerung 3.0 tendon anchoring 3.0
XX_XXX_M012-C32_SpV-V-3.0_Montagelapen	Abdeckung Montagegerahmen staking out mounting frame

ENERCON Windenergieanlage E-175 EP54-IT-162-ES-C-01 DIBt 2015 WZ S / IEC WTC S	ENERCON wind turbine generator E-175 EP54-IT-162-ES-C-01 DIBt 2015 WZ S / IEC WTC S
--	---

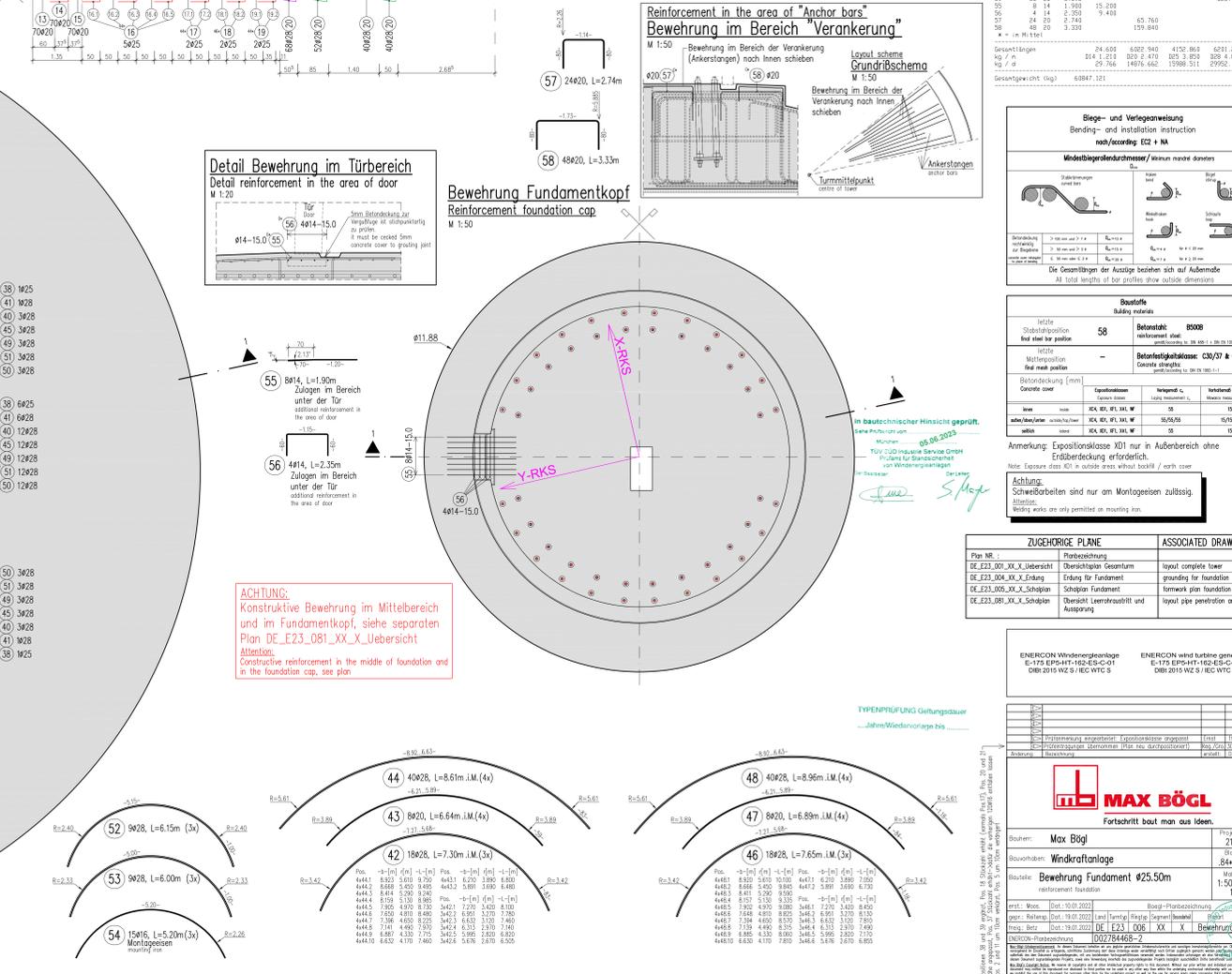
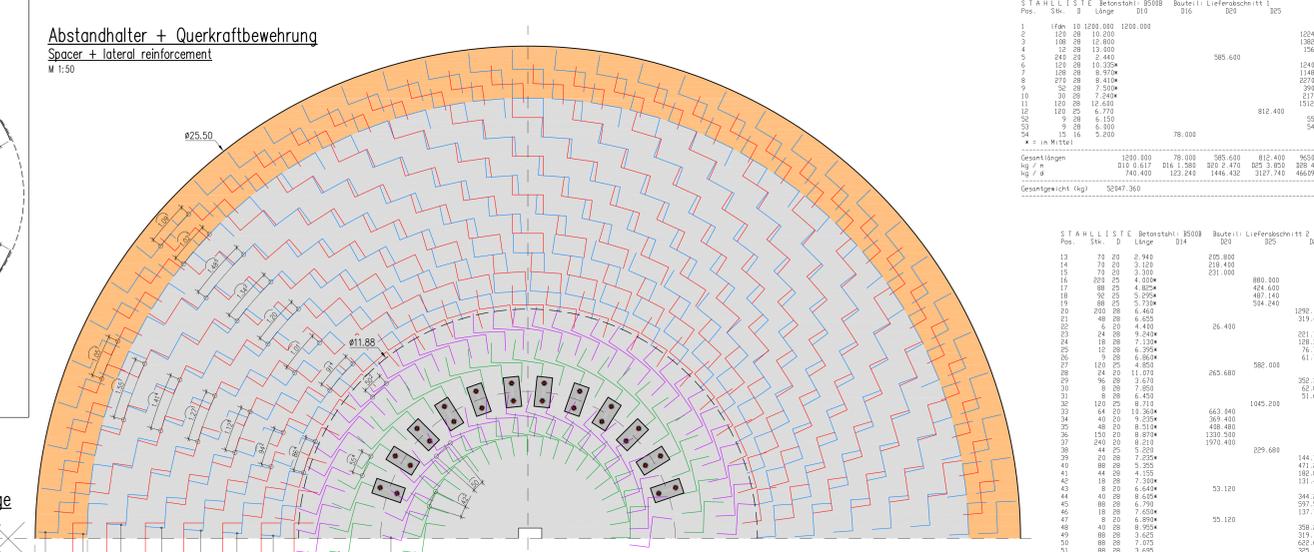
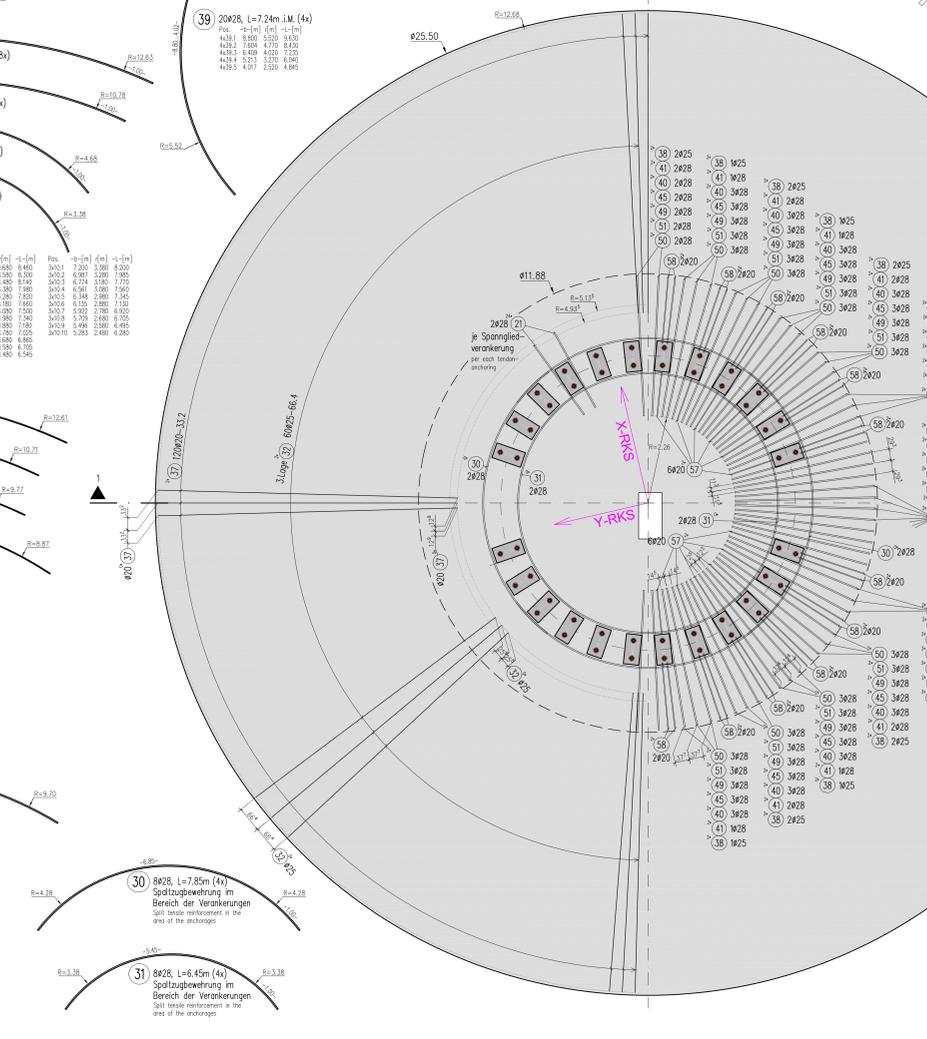
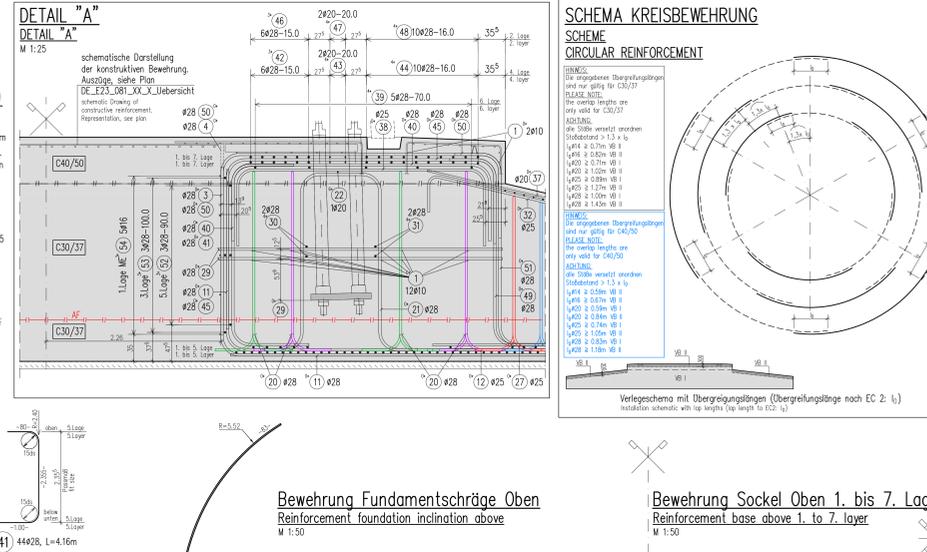
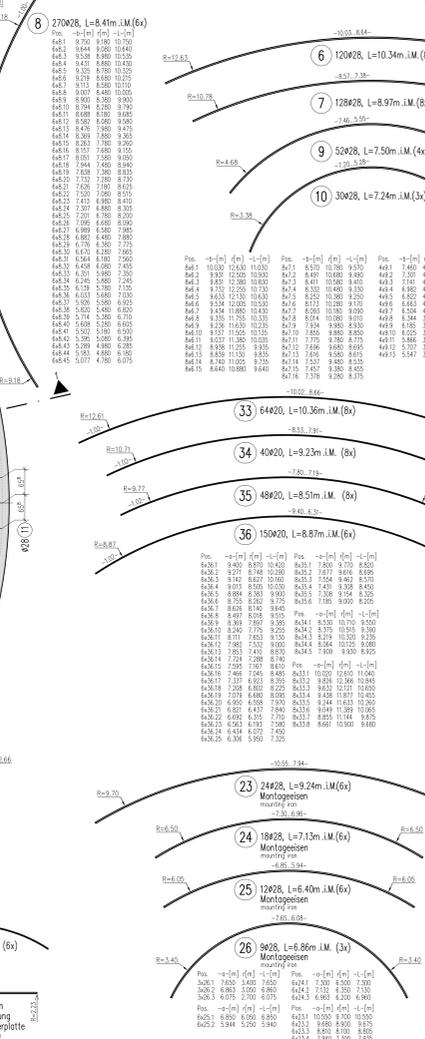
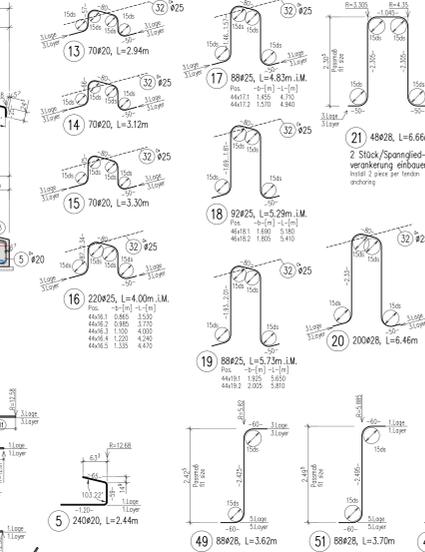
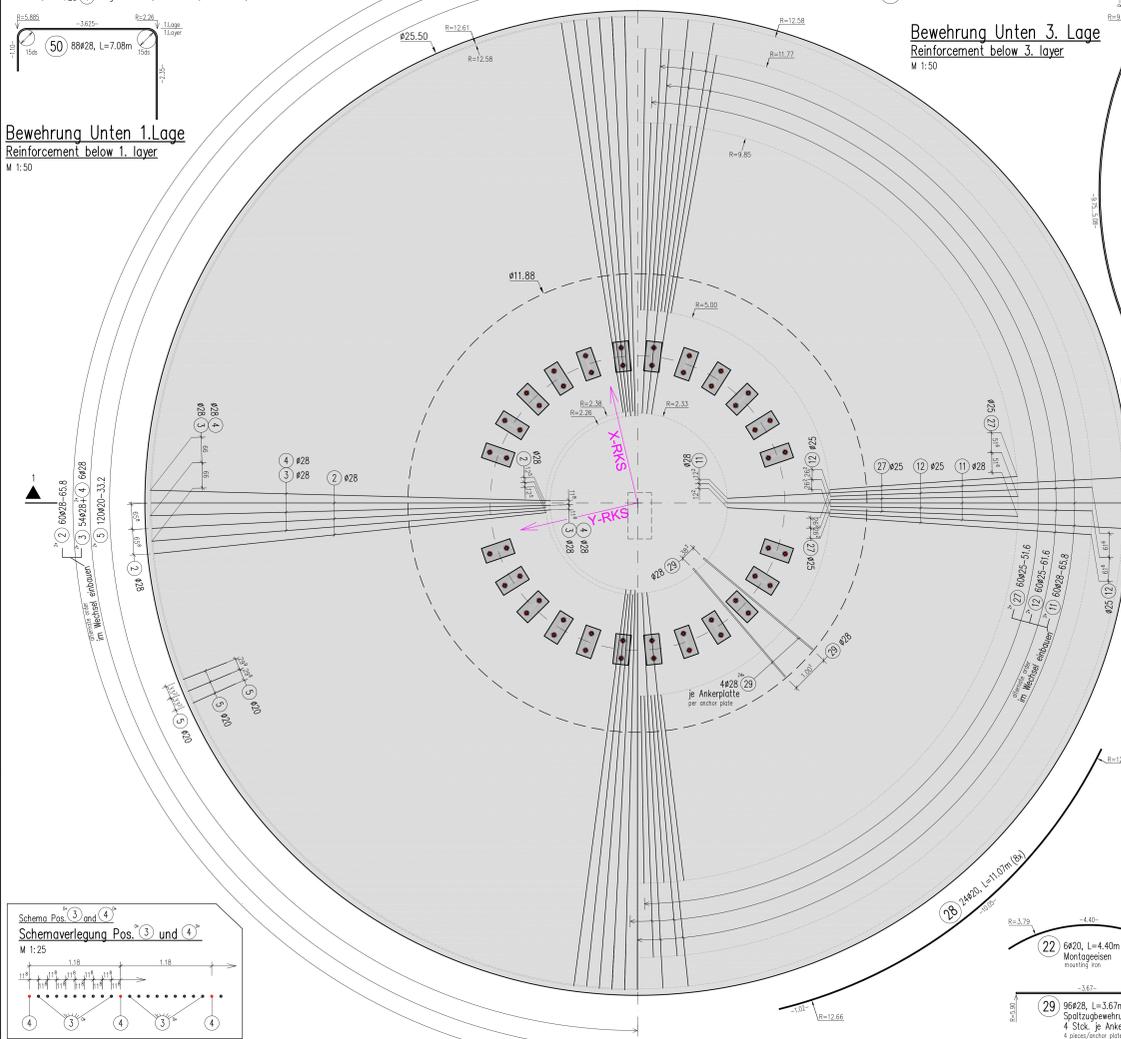
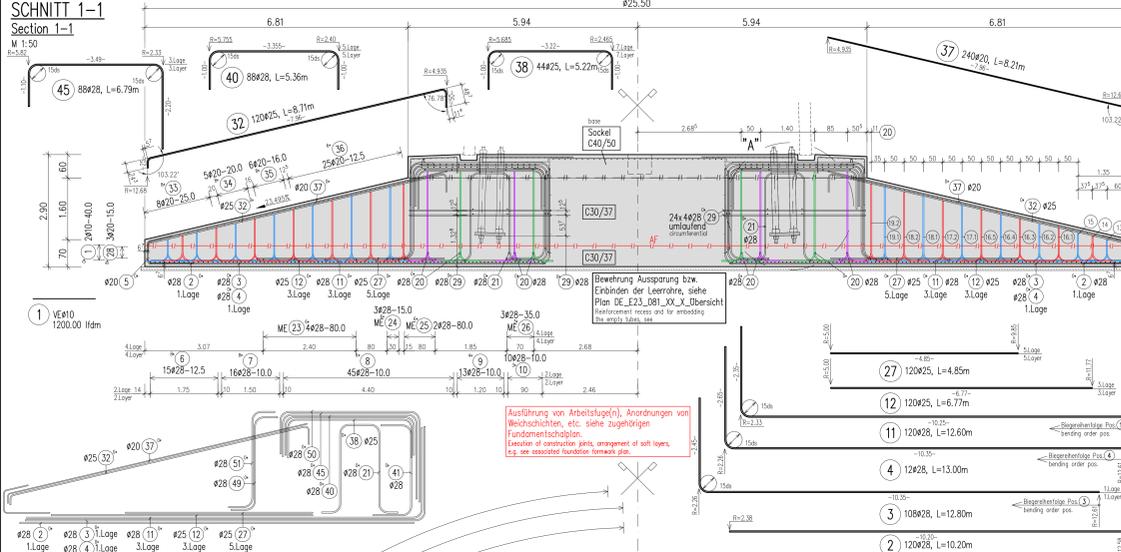
**MAX BÖGL**  
Fortschritt baut man aus Ideen.

Bauherr: Max Bögl Projekt Nr.: 21683  
 Bauvorhaben: Windkraftanlage wind turbine generator Blätter: 1,19-84m  
 Bauteile: Schaplan Fundament Ø 25,50m Maßstab: 1:50; 1:25; 1:10  
 formwork plan foundation

erst.: Großbau, Dat.: 19.12.2022 Boegl-Planbezeichnung: 21683  
 gepr.: Reifesp. Dat.: 19.12.2022 (Land | Umfang | Ringf. | Segment | Bauteil) | Planart | Index  
 freig.: Betz. Dat.: 19.12.2022 DE E23 005 XX X Schaplan

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

Sofort-Dateline: DE\_E23\_005\_XX\_X\_Schaplan



STAHL LISTE		Betonstahl B500B		Bauteil / Lieferanschnitt 1			
Pos.	Stk.	Ø	Länge	Ø14	Ø20	Ø25	Ø30
1	16m	10	1200,000	1200,000			
2	108	20	10,000				
3	108	25	10,000				
4	240	20	4,400				
5	240	25	4,400				
6	108	20	10,000				
7	108	25	10,000				
8	108	20	10,000				
9	50	20	7,300				
10	50	25	7,300				
11	120	20	10,000				
12	120	25	10,000				
13	108	20	10,000				
14	108	25	10,000				
15	108	20	10,000				
16	108	25	10,000				
17	108	20	10,000				
18	108	25	10,000				
19	108	20	10,000				
20	108	25	10,000				
21	108	20	10,000				
22	108	25	10,000				
23	108	20	10,000				
24	108	25	10,000				
25	108	20	10,000				
26	108	25	10,000				
27	108	20	10,000				
28	108	25	10,000				
29	108	20	10,000				
30	108	25	10,000				
31	108	20	10,000				
32	108	25	10,000				
33	108	20	10,000				
34	108	25	10,000				
35	108	20	10,000				
36	108	25	10,000				
37	108	20	10,000				
38	108	25	10,000				
39	108	20	10,000				
40	108	25	10,000				
41	108	20	10,000				
42	108	25	10,000				
43	108	20	10,000				
44	108	25	10,000				
45	108	20	10,000				
46	108	25	10,000				
47	108	20	10,000				
48	108	25	10,000				
49	108	20	10,000				
50	108	25	10,000				
51	108	20	10,000				
52	108	25	10,000				
53	108	20	10,000				
54	108	25	10,000				
55	108	20	10,000				
56	108	25	10,000				
57	108	20	10,000				
58	108	25	10,000				
59	108	20	10,000				
60	108	25	10,000				
61	108	20	10,000				
62	108	25	10,000				
63	108	20	10,000				
64	108	25	10,000				
65	108	20	10,000				
66	108	25	10,000				
67	108	20	10,000				
68	108	25	10,000				
69	108	20	10,000				
70	108	25	10,000				
71	108	20	10,000				
72	108	25	10,000				
73	108	20	10,000				
74	108	25	10,000				
75	108	20	10,000				
76	108	25	10,000				
77	108	20	10,000				
78	108	25	10,000				
79	108	20	10,000				
80	108	25	10,000				
81	108	20	10,000				
82	108	25	10,000				
83	108	20	10,000				
84	108	25	10,000				
85	108	20	10,000				
86	108	25	10,000				
87	108	20	10,000				
88	108	25	10,000				
89	108	20	10,000				
90	108	25	10,000				
91	108	20	10,000				
92	108	25	10,000				
93	108	20	10,000				
94	108	25	10,000				
95	108	20	10,000				
96	108	25	10,000				
97	108	20	10,000				
98	108	25	10,000				
99	108	20	10,000				
100	108	25	10,000				
101	108	20	10,000				
102	108	25	10,000				
103	108	20	10,000				
104	108	25	10,000				
105	108	20	10,000				
106	108	25	10,000				
107	108	20	10,000				
108	108	25	10,000				
109	108	20	10,000				
110	108	25	10,000				
111	108	20	10,000				
112	108	25	10,000				
113	108	20	10,000				
114	108	25	10,000				
115	108	20	10,000				
116	108	25	10,000				
117	108	20	10,000				
118	108	25	10,000				
119	108	20	10,000				
120	108	25	10,000				



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 2024-10-07

**Bericht Nr.:** 3743008-7-d-1 Rev. 2

**Objekt:** **Evaluierung der Konstruktion - Lastannahmen**  
Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1  
Rotorblatt E175 EP5-RB-01  
Nabenhöhe 162 m über Geländeoberkante  
(Turm E-175 EP5-HT-162-ES-C-01)

WEA-Klasse S und Windzone S

hier: Turm- und Fundamentlasten

**Grundlage der  
Evaluierung:** IECRE OD-501:2022,  
DIN EN 61400-22:2011 und DIBt 2012

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

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3743008-7-d-  
1\_Rev2\_Enercon\_E-  
175\_EP5\_162mHH\_HT162  
\_LA\_IECS\_DIBtWZS.docx

Seite 1 von 9

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

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

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

**Aufsichtsrat:**  
Reiner Block (Vors.)  
**Geschäftsführung:**  
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)  
Thomas Kainz  
Simon Kellerer  
Paula Pias Paleteiro

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
Energie und Systeme  
Windenergie  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	2023-06-05	Erstfassung
1	2024-03-22	Referenz [3] und [6] aktualisiert Referenz [4] hinzugefügt Redaktionelle Änderungen
2	2024-10-07	Update des Rotorblattdesigns (A2.1kCAD-S12.1) Referenzen [13], [14], [15] hinzugefügt Neue Revision des Dokuments [8] Redaktionelle Änderungen

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

### Inhaltsverzeichnis

1	Unterlagen .....	3
1.1	Evaluierete Unterlagen.....	3
1.2	Eingesehene Unterlagen.....	3
2	Grundlagen der Evaluierung .....	4
2.1	Angewendete Standards .....	4
2.2	Zusätzliche Standards.....	4
3	Beschreibung .....	5
3.1	Turbineneigenschaften.....	5
3.2	Umgebungsbedingungen .....	6
3.3	Eigenfrequenzen .....	6
4	Umfang der Evaluierung.....	7
5	Bemerkungen.....	7
5.1	Extremlasten .....	7
5.2	Betriebsfestigkeitslasten.....	7
6	Gutachtliche Stellungnahme .....	8
	Auflagen .....	8
	Anhang: Berücksichtigte Wartungszustände.....	9



## 1 Unterlagen

### 1.1 **Evaluierte Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden zur Evaluierung vorgelegt:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[1]	Datei "D02833236_0.0_de-en_Calculation_E-175_EP5_-HT-162-ES-C-01; LL03_SC_WCII_TCA_7.8_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx", MD5 Prüfsumme: 414692DC408456F34DB17F627F044E4C  (enthalten in Datei "D02785545-2.2-LSET E-175 EP5 -HT-162-ES-C-01.zip", MD5 Prüfsumme: 3B454446EC8EB5FB079222C74C6F6C99)	ENERCON	D02833236 Rev. 0.0	N/A
[2]	Datei "D02775088_1.0_en_Calculation_E-175_EP5+_E1-HT-162-ES-C-01_LL03_WCII_TCA_7.8_2.0; Fatigue_and_Ultimate_Loads_Tower.xlsx", MD5 Prüfsumme: 374867f99cbc40d89da0c8a00d49ea81  (enthalten in Datei "D02785545-0.0-LSET E-175 EP5 E1-HT-162-ES-C-01.zip", MD5 Prüfsumme: 22737CA791BB9056CD422CC793E5D86D)	ENERCON	D02775088 Rev. 1.0	N/A

### 1.2 **Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Evaluierung zusätzlich herangezogen:

[3]	Design Base E-175 EP5 / E-175 EP5 E2	ENERCON	D02833990 Rev. 0.2	2023-11-10
[4]	Evaluation Report Design Basis Evaluation Wind Turbine ENERCON E-175 EP5 Hub Heights 112 m, 132 m, 140 m, 162 m, 175 m Rotor Blade Type E-175 EP5-RB-01 for WT-class S	TÜV SÜD	3743008-1-e-0 Rev. 0	2023-12-04
[5]	ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5	ENERCON	D02765171 Rev 0.1-de	2022-09-26
[6]	E-175 EP5, E-175 EP5 E2 Fatigue- and ultimate loads as per IEC 61400-1 Ed. 4: 2019 and DIBt 2015	ENERCON	D02785544 Rev. 3.0	2023-08-14
[7]	Load simulation process	ENERCON	D02785543 Rev. 0.1	2023-02-21
[8]	Reglerbeschreibung E-175 EP5, E-175 EP5	ENERCON	D02784270 Rev. 3.2	2023-08-14
[9]	Sturmregelung ENERCON Windenergieanlagen	ENERCON	D0178786 Rev. 14.0-de	2022-10-18
[10]	Anhalteprozeduren E-175 EP5	ENERCON	D02872531 Rev. 2.0-de	2023-06-02
[11]	Application and interpretation of the distributed turbulences method	ENERCON	D02385954 Rev. 0.4	2021-06-22
[12]	ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS)	ENERCON	D02531399 Rev. 1.0-de	2022-10-05
[13]	Loads Report E-175 EP5	ENERCON	D02785544 Rev. 5.1	2024-08-21



[14]	Datei "D03034201_0.0_E175 EP5; LL06; Machine and tower loads comparison with A2.1kCAD-S12.1.xlsx", MD5 Prüfsumme: A118D9B78AFE768593EB416251D490A6	ENERCON	D03034201 Rev. 0.0	N/A
[15]	Evaluation Report Evaluierung der Konstruktion – Lastannahmen Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1 Rotorblatt E-175 EP5-RB-01 Nabenhöhe 112 m, 132 m, 140 m und 162 m über Geländeoberkante (Türme E-175 EP5-ST- 112-FB-C-01, E-175 EP5-HST-132-FB-C-01, E-175 EP5-HST- 140-FB-C-01, E-175 EP5-HT-162-ES-C-01) WEA-Klasse S und Windzone S hier: Maschinenbau- und Rotorblattlasten	TÜV SÜD	3743008-9-d-1 Rev. 2	2024-10-07
[16]	Datei "D02785091_2.1_Load case description_E-175 EP5.zip", MD5 Prüfsumme: 747C58BF1F91CC6E73434DC8E66E36A9	Enercon	D02785091 Rev. 2.1	N/A
[17]	Simulationsmodell Datei "D02785509-1.0 - SSET E-175 EP5 - HT-162-ES-C-01\07_Zeitreihen_s2\1.2q_BV_s2\ 1.2q_s2011303\powprod.\$PJ", MD5 Prüfsumme: B88BDE96CD978DA30C91335B6A76AC54	ENERCON	N/A	N/A
[18]	Regelungsdatei "Regler.dll", MD5 Prüfsumme: 17E489EA8306FD0B0171F731DF7D0643	ENERCON	N/A	N/A
[19]	Regelungsparameter "EP5_E175_E-175_EP5_HT_162_ES _C_01_0.5.82.0_Storm_control.Daten" MD5 Prüfsumme: 6619F58509AA08D24AF59657CA35EB73	ENERCON	N/A	N/A

## 2 Grundlagen der Evaluierung

### 2.1 Angewendete Standards

Die Evaluierung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Normen und Richtlinien:

Ref.	Nummer	Titel
/1/	IECRE OD-501:2022	Type and Component Certification Scheme
/2/	IECRE OD-501-4:2017	Conformity Assessment and Certification of Loads by RECB's
/3/	DIN EN 61400-22:2011	Windenergieanlagen - Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung
/4/	DIN EN IEC 61400-1:2019	Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen
/5/	DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015

### 2.2 Zusätzliche Standards

Zur Evaluierung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

/6/	Bestätigungsschreiben vom DKE/AK 383.0.1 zur Verwendung in der DIBt Richtlinie 2015 mit DIN EN IEC 61400-1:2019
-----	--



### 3 Beschreibung

In den vorgelegten Lastannahmen [1] und [2] wurden die Betriebsfestigkeits- und Extremlasten der Windenergieanlagen ENERCON E-175 EP5 E1 mit 162 m Nabenhöhe über Geländeoberkante gemäß der Grundlagen der Evaluierung für Umgebungsbedingungen gemäß Kapitel 3.2 berechnet.

Die Simulationen wurden sowohl mit starrer als auch mit weicher Einspannung durchgeführt.

#### 3.1 Turbineneigenschaften

Rotorblatttyp	E175 EP5-RB-01
Rotordurchmesser	175 m
Blattmasse je Blatt	27265 kg
1. statische Moment je Blatt (bezogen auf Blattwurzel)	680890 kgm
Massenunwucht des Rotors (bezogen auf Nabemitte)	1000 kgm
Nennleistung	6200 kW
Rotordrehzahlbereich	3,05 - 10,94 rpm
Rotornendrehzahl	8,75 rpm
Triebstrangtyp	direktgetrieben
Nabenhöhe über Geländeoberkante	162 m
Turmtyp	Hybridturm E-175 EP5-HT-162- ES-C-01
Nennwindgeschwindigkeit, $V_r$ (1 Sekunden Mittelwert)	11 m/s
Einschaltwindgeschwindigkeit, $V_{in}$ (10 Minuten Mittelwert)	2,5 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit, $V_{out}$ (10 Minuten Mittelwert) <sup>1</sup>	25 m/s

**Tabelle 1: Turbineneigenschaften**

---

<sup>1</sup> Für Windgeschwindigkeiten zwischen 21 m/s und 25 m/s wird die Leistung schrittweise reduziert.



### 3.2 Umgebungsbedingungen

	IEC / DIBt
Extremer 50 Jahres Wind $V_{ref}$ (10 min Mittelwert)	42,5 m/s
Extremer Jahres Wind $V_1$ (10 min Mittelwert)	34,0 m/s
Turbulenzintensität bei Extremwind	11 %
Höhenexponent bei Extremwind	0,11
Turbulenzkategorie	A
Höhenexponent im Betrieb	0,2
Weibull Form Faktor	2,0
Jährliche mittlere Windgeschwindigkeit	7,8 m/s
Anströmung von unten	8°
Luftdichte	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Lebensdauer	25 Jahre

Tabelle 2: Umgebungsbedingungen

### 3.3 Eigenfrequenzen

<b>Turm – weiche Einspannung (2,0E+11 Nm/rad)</b>	Frequenz	Limits (± 5 %)
1. Biegefrequenz (in Rotorachsrichtung)	0.189 Hz	0.180 Hz bis 0.199 Hz
2. Biegefrequenz (in Rotorachsrichtung)	0.769 Hz	0.731 Hz bis 0.808 Hz
1. Biegefrequenz (quer zur Rotorachsrichtung)	0.188 Hz	0.179 Hz bis 0.198 Hz
2. Biegefrequenz (quer zur Rotorachsrichtung)	0.724 Hz	0.688 Hz bis 0.760 Hz
<b>Turm – starre Einspannung</b>		
1. Biegefrequenz (in Rotorachsrichtung)	0.202 Hz	0.192 Hz bis 0.212 Hz
2. Biegefrequenz (in Rotorachsrichtung)	0.821 Hz	0.780 Hz bis 0.862 Hz
1. Biegefrequenz (quer zur Rotorachsrichtung)	0.200 Hz	0.190 Hz bis 0.210 Hz
2. Biegefrequenz (quer zur Rotorachsrichtung)	0.888 Hz	0.844 Hz bis 0.933 Hz
<b>Blatt</b>		
1. Biegefrequenz in Schlagrichtung	0.456 Hz	0.433 Hz bis 0.479 Hz
2. Biegefrequenz in Schlagrichtung	1.122 Hz	1.066 Hz bis 1.178 Hz
1. Biegefrequenz in Schwenkrichtung	0.699 Hz	0.664 Hz bis 0.734 Hz
2. Biegefrequenz in Schwenkrichtung	1.972 Hz	1.873 Hz bis 2.070 Hz

Tabelle 3: Eigenfrequenzen von Turm und Blatt



#### **4 Umfang der Evaluierung**

Die vorgelegten Lastannahmen [1] und [2] wurden auf Vollständigkeit und Richtigkeit gemäß den Anforderungen der Grundlagen der Evaluierung in Kapitel 2 evaluiert.

Die Eingangsgrößen des Simulationsmodells (enthalten in Datei [17]) wurden auf Plausibilität evaluiert.

#### **5 Bemerkungen**

Die vom Hersteller angegebenen Eingangsgrößen für das Simulationsmodell wurden als richtig vorausgesetzt (enthalten in Datei [17]).

Lastrelevante Modifizierungen am Anlagendesign, inklusive des Steuerungs- und Sicherheitssystems, können nachträgliche Berechnungen erfordern.

Die Lastannahmen [1] und [2] wurden ursprünglich mit dem Rotorblatt E175 EP5-RB-01 A2.1 S6.5 berechnet. Im Lastvergleich [13] (evaluiert in [15]) wurde gezeigt, dass die Turmlasten für das neue Rotorblatt E175 EP5-RB-01 A2.1kCAD-S12.1 gültig bleiben.

##### **5.1 Extremlasten**

Die Extremlasten für den Turm und das Fundament können Dokument [1] und [2] entnommen werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_F$  für die aerodynamischen Funktions-, Massen- und Trägheitskräfte sind in den Ergebnissen für alle berechneten Lasten enthalten. Die Werte entsprechen den Anforderungen der Grundlagen der Evaluierung und sind zusammen mit den Extremlastfällen angegeben.

Bei transienten Lastfällen mit variablem initialen Azimutwinkel wurden die charakteristischen Lastgrößen als Mittelwert der Maximalwerte aller berücksichtigten initialen Azimutpositionen berechnet.

Lasterhöhungen aufgrund der Elastizität der Anlage sind durch die dynamische Analyse berücksichtigt.

In der Simulation wurden die Wartungszustände gemäß Anhang angesetzt.

Für den DLC 8.1 wurde ein Last-Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma_F = 1,35$  angenommen.

##### **5.2 Betriebsfestigkeitslasten**

Die Betriebsfestigkeitslasten für den Turm und das Fundament können Dokument [1] und [2] entnommen werden.

Eislasten auf den Rotorblättern wurden während der Produktion nicht berücksichtigt, da diese Bedingungen vom Steuerungssystem erkannt werden und die Windkraftanlage in den Trudelbetrieb schaltet (siehe Dokument [12]).

Die Rotordrehfrequenzen (1P) während des Anlagenbetriebs befinden sich unterhalb der ersten Biegeeigenfrequenz des Turms.



## 6 Gutachtliche Stellungnahme

Die zur Evaluierung der Konstruktion der Lastannahmen, vorgelegten Dokumente für die Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 E1, entsprechen den Anforderungen der in Kapitel 2.1 angegebenen Zertifizierungsschemas und Standards sowie der Konstruktionsbasis [3], sofern die nachstehenden Bedingungen erfüllt sind.

Die Prüfunterlagen, aufgelistet in Kapitel 1.1, können den Festigkeitsnachweisen von Turm und Fundament an Standorten mit Umgebungsbedingungen gemäß Kapitel 3.2 zugrunde gelegt werden.

Die in dieser gutachtlichen Stellungnahme genannten Auslegungslasten sind identisch mit den in den vorherigen Revisionen dieses Berichts genannten Auslegungslasten. Gutachtliche Stellungnahmen, die sich auf frühere Versionen dieser gutachtlichen Stellungnahme beziehen, behalten ihre Gültigkeit.

### Auflagen

1. Wartungsarbeiten sind nur bis zu Windgeschwindigkeiten, wie in Anhang angegeben, zulässig.
2. Die 1. Biegeeigenfrequenzen des Turms dürfen nicht mehr als  $\pm 5\%$  von den in Kapitel 3.3 angegebenen Werten abweichen.
3. Bei Errichtung der Anlage in einem Windpark ist ohne weiteren Nachweis (z.B. in Form eines Turbulenzgutachtens) ein Mindestabstand zu benachbarten Windenergieanlagen einzuhalten, der dem 6,5-fachen Rotordurchmesser entspricht.

### **TÜV SÜD Industrie Service GmbH Abteilung Windenergieanlagen**

Bewertung

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

A. Dürbaum

Evaluierung

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

S. Lindinger



**Anhang: Berücksichtigte Wartungszustände**

Beschreibung	Zulässige Windgeschwindigkeit [m/s] <sup>2</sup>	Rotorlock (ja/nein)	Windrichtung	Rotor Azimut	Pitchwinkel Blatt 1	Pitchwinkel Blatt 2	Pitchwinkel Blatt 3
Pitch und Yaw Fehler	13 m/s	nein	0° - 360°	90°	100°	100°	100°
Pitch und Yaw Fehler	13 m/s	nein	0° - 360°	90°	0°	100°	100°
Pitch und Yaw Fehler	13 m/s	nein	0° - 360°	90°	45°	100°	100°
Blatt 2 in beliebiger Position mit abgeschaltetem Yaw-System	13 m/s	ja	0° - 360°	0° - 360°	100°	0° - 100°	100°

**Tabelle 4: Berücksichtigte Wartungszustände**

---

<sup>2</sup> Gemäß DIN EN 61400-1:2019 Kap. 7.4.9 wurden für die Simulation eine um 5 m/s höhere Windgeschwindigkeit angesetzt.



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 12.12.2023

**Prüfnummer:** 3743008-9-d-1 Rev.1

**Objekt:** **Bewertung der Konstruktion - Lastannahmen**  
Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5  
Rotorblatt E-175 EP5-RB-01  
Nabenhöhe 112 m, 132 m, 140 m, 162 m und 175 m über  
Geländeoberkante  
(Türme E-175 EP5-ST-112-FB-C-01,  
E-175 EP5-HST-132-FB-C-01,  
E-175 EP5-HST-140-FB-C-01,  
E-175 EP5-HT-162-ES-C-01,  
E-175 EP5-HST-175-FB-C-01)

WEA-Klasse S und Windzone S

hier: Maschinenbau- und Rotorblattlasten

**Prüfgrundlage:** IECRE OD-501:2022  
DIN EN 61400-22:2011 und DIBt 2012

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

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC/AD

Dokument:  
3743008-9-d-  
1\_rev1\_Enercon\_E-  
175E\_EP5\_LA\_MB+RB\_IECS\_D  
IBtWZS.docx

Das Dokument besteht aus  
17 Seiten.  
Seite 1 von 17

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.



Revision	Datum	Änderungen
0	14.06.2023	Erstfassung
1	12.12.2023	Lasten für Einzelblattmontage [5] und zugehörige Lastfallbeschreibung [21] hinzugefügt; redaktionelle Änderungen

## Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen .....	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	10
2.	Bewertungsgrundlage .....	13
3.	Beschreibung .....	13
3.1.	Turbineneigenschaften.....	13
3.2.	Umgebungsbedingungen .....	14
3.3.	Eigenfrequenzen.....	15
4.	Umfang der Bewertung .....	15
5.	Bemerkungen.....	15
5.1.	Betriebsfestigkeitslasten.....	15
5.2.	Extremlastfälle .....	15
6.	Gutachtliche Stellungnahme .....	16
	Auflagen.....	16
	Anhang 1: Berücksichtigte Wartungslastfälle (ohne Einzelblattmontage).....	17

## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente, von ENERCON erstellt, wurde zur Prüfung vorgelegt:

- [1] Datenträgerdatei: "D02871960\_0.0\_E-175 EP5; LL03 SC WCII TCA 8.5-2; Blade tip loads.zip"

MD5 Prüfsumme: CBC169422D23B9D3A5D9AB1B98F90003

Die Prüfung umfasst die folgenden Dokumente:

- [1.1] Datei "Equi\_abdeckend\_1E6LW.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 9FFF80A723A543A8DF7171E1DC17018A
- [1.2] Datei "Equi\_abdeckend\_2E6LW.xlsx"  
MD5 Prüfsumme: 850B9C34A5C0D2BF6442F95616E26A3A
- [1.3] Datei "Blade\_1\_Tiploads\_mean\_loads\_envelope.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 22F796715F6BA8D885E17047C6F5A408
- [1.4] Datei "Tip\_T112\_T175\_Eingelesene\_Kollektive\_merge\_abdeckend.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: FC88FB68ABCB16A9485FC616F03520C1
- [1.5] Datei "Extremlasten\_Tip\_abdeckend\_T112\_T175\_without\_formulae.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 7F89DC007AFBC1FB123D17A393B79392

- [2] Datenträgerdatei: "D02866819\_0.2\_E175 EP5;LL03 SC;WCII TCA 8.5-2;Machine loads GT.zip"

MD5 Prüfsumme: 85D4C6B015B8056081102200B0014086

Die Prüfung umfasst die folgenden Dokumente:

- [2.1] Datei "DEL\_nacfront mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: E567C6D17721FAE611E1600F2436277E
- [2.2] Datei "DEL\_shaft mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 3B273659EC48DD0628D59E046CFC3B2C
- [2.3] Datei "DEL\_Hub loads modified mass\_fixed frame GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: A8AE5486CD94DAA376E2FCB76F3797B4
- [2.4] Datei "DEL\_mainb HCS mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: ED107755B074F0DB990122CC25E3073C
- [2.5] Datei "DEL\_mainb RCS mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 11A8B99625EDBA4D6C9ACDA27A1C0064
- [2.6] Datei "MT\_112m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.10.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 9A04BAB19A2318244E4DEA497CC86164
- [2.7] Datei "MT\_112m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 13FA2E9ECA73FE9A882F2F89AC3EE797
- [2.8] Datei "MT\_132m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 1468170C7E3D4B43899E93AE9FA9566F
- [2.9] Datei "MT\_140m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: B3590455BFA081D625374140C0E18AA4

- [2.10] Datei "MT\_162m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 9AAD7B392F02E11173C3E078A3E736C5
- [2.11] Datei "MT\_175m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.40.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 691B9577934CC0C0B37E2AD6F3219C1F
- [2.12] Datei "MT\_175m\MT\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 107713DD93323356D1E02B3A5F9CA984
- [2.13] Datei "MV\_mainb\_HCS\_mod\_mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: CE7B2700892117D69201C75B197311B3
- [2.14] Datei "MV\_mainb\_RCS\_mod\_mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 4CD75F8C658D4B089EC88C74014D67E4
- [2.15] Datei "MV\_nacfront\_mod\_mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 641DAFEEA42B703056CF0CDB8B198EBD
- [2.16] Datei "MV\_shaft\_mod\_mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: F5D0271025F844435D4EA333477B0F0F
- [2.17] Datei "MV\_Hub loads modified mass fixed frame GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: DEBEE27F3B4A62FDC1487E1853236123
- [2.18] Datei "RF\_mainb HCS mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 18C354DDA701A21FAD60DEF0CFE53899F
- [2.19] Datei "RF\_mainb RCS mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 418EF8DCC82FA743ADCC23719EFC1419
- [2.20] Datei "RF\_nacfront mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 70AB87677ADADBCD82DA09AA565C5E21
- [2.21] Datei "RF\_shaft mod mass\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 7168C468E2BEFF5CCA0CE0A3994B9552
- [2.22] Datei "RF\_Hub loads modified mass\_fixed frame GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 023BFCEB0E06249CA17CF6EEF09D63A6
- [2.23] Datei "Kreuztabelle\_Hub+GTflanges.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 38A50851FD284FB008B6ACFCA2D89BE2
- [2.24] Datei "Kreuztabelle\_shaft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 67EF579C37114F122C978436D0E2B012
- [2.25] Datei "Kreuztabelle\_Hub\_w.o.locked.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 827AA0810EDDFEF094257D20B26B
- [3] Datenträgerdatei: "D02832581\_0.1\_E175 EP5;LL03 SC; WCII TCA 8.5-2; Machine loads HP++.zip"  
MD5 Prüfsumme: 7411058568AE2F11BEA4DDAEE3D38242

Die Prüfung umfasst die folgenden Dokumente:

- [3.1] Datei "DEL\_Hub loads\_fixed frame GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 2E5CF56727BA9EC35BEBD253C37AF3F5
- [3.2] Datei "DEL\_mainb HCS\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 46B9365A5947ACB24A63741E6842AE2E



- [3.3] Datei "DEL\_mainb RCS\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 3D4999BEC9780F7AF7E2ACBF1A98BF25
- [3.4] Datei "DEL\_nacfront\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 7BD668C7ABAEBDDE08EEAE24D97CEC67
- [3.5] Datei "DEL\_shaft\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: C55A1FCCAFF7E1F6CC2CDF2E9E61B529
- [3.6] Datei "DEL\_Tower loads GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 5FC9D81EC6205A84ED9288B02D618361
- [3.7] Datei "DEL\_Blade 1 Rotated BLPoT Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 50C4529016215829A75A749A79841D49
- [3.8] Datei "DEL\_Blade root 1 Rotated Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 072D75D6CC6F4CEA0C578E702E743144
- [3.9] Datei "DEL\_Blade root 1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 5EAB0E04690EF36E39E87EA302DDF643
- [3.10] Datei "DEL\_combin\_Bladed2bladRxBCS\_B1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 39FBF6BBECC3B82F5E06A34935BF0349
- [3.11] Datei "HH112\_shear0.1\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: AA34ED255894884E7C5AB3BC65277BDE
- [3.12] Datei "HH112\_shear0.2\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 0413127EE68B4590F35932D2FBE1B17D
- [3.13] Datei "HH132\_shear0.2\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 96B15412D77C96F27457FDB3C896A11A
- [3.14] Datei "HH140\_shear0.2\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 4141886876C61924A3607E349DDF8538
- [3.15] Datei "HH162\_shear0.2\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 1AAC8D4987EBBDDCAB30432EA5E62969
- [3.16] Datei "HH175\_shear0.2\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 33703934B4013A92F9ABAB0435CA536A
- [3.17] Datei "HH175\_shear0.4\MT\MT\_Hub loads fixed frame GL  
coordinates\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 859990478A908A9102F3339F81CFDE5E
- [3.18] Datei "MV\_Blade\_root\_1\_Rotated\_Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 8F078067E70B3E097A873396DCEA5B89
- [3.19] Datei "MV\_combin\_Bladed2bladRxBCS\_B1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: AADB83D4139A29B380BD50D265779BA7
- [3.20] Datei "MV\_Hub\_loads\_fixed\_frame\_GL\_coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 5EB01E036F5176C68BF564B01E885EC5

- [3.21] Datei "MV\_mainb\_HCS\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 51E482B8E55CE921476A3E286883EF9A
- [3.22] Datei "MV\_mainb\_RCS\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: EB8EE41E003A0762487A277FD75FAAA1
- [3.23] Datei "MV\_nacfront\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 59410881F943FAA2892CB3E0B70A980D
- [3.24] Datei "MV\_shaft\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: A0087E355EE82B408890A3A25DBC4C33
- [3.25] Datei "MV\_Tower\_loads\_GL\_coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 877793AC0B457C6EB9CCC784A6E56423
- [3.26] Datei "MV\_Blade\_1\_Rotated\_BLPoT\_Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 7350329506C5D193DB579DCCA05AE9D4
- [3.27] Datei "MV\_Blade\_root\_1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: F5944B7C5B4F56860FA713A0BCDB2F40
- [3.28] Datei "HH112\_shear0.1\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.10\_Soft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: DABE580D1CE43D8BCC7F7249AE29DB21
- [3.29] Datei "HH112\_shear0.1\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.10\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 6674A394EB8995B3EC2312BC6134075B
- [3.30] Datei "HH112\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Soft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: F3A102432BCADE34A4824EF8443C54FD
- [3.31] Datei "HH112\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: BCD07CA6D3956E737DB0AED20AFD0656
- [3.32] Datei "HH132\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Soft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 1D45C3C9503B91A169E587BFA34F8287
- [3.33] Datei "HH132\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: DF9E66792676A07CCD81DC7120C4DFD6
- [3.34] Datei "HH140\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Soft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 870EDF2701F551B5A11608C3841D7EA3
- [3.35] Datei "HH140\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 18E34717AEA7BE749EF37240669318CD
- [3.36] Datei "HH162\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Soft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 6D34302E400B68A3A1B2061710B8B0D8
- [3.37] Datei "HH162\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs  
combined\_0.20\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: E4642CCFC0C20B31D16BA4A2DF814730



- [3.38] Datei "HH175\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 11790BD7FFFA3782A35485F29441E962
- [3.39] Datei "HH175\_shear0.2\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.20\_Soft.xlsx"  
MD5 Prüfsumme: 30195AE671471AFC652554D3B0AD966D
- [3.40] Datei "HH175\_shear0.4\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.40\_Soft.xlsx"  
MD5 Prüfsumme: 8E9D3C1B8B8910BDA4AA691076378367
- [3.41] Datei "HH175\_shear0.4\MT\_NGYaw-external-loaddll\_vm=8.5\_k=2\_25\_DLCs combined\_0.40\_Rigid.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 25469300E0444F08B9A04543FBCBA7A1
- [3.42] Datei "Kreuztabelle\_deenergised.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 4A2005846877C7FEC04F3DC8223B4E46
- [3.43] Datei "PAT\_Pitch\_system\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 963D487B8791DCCBDB7A8D02DD4AC2CD
- [3.44] Datei "RF\_combin\_Bladed2bladRxBCS\_B1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 75B7416FD9F6B8CBC2E3CC272DC8E1AE
- [3.45] Datei "RF\_Hub loads\_fixed frame GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 69CF33F541FF132606D282FA83462D09
- [3.46] Datei "RF\_mainb HCS\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 62EFF448ED950E6AC1E868AF6138D3D2
- [3.47] Datei "RF\_mainb RCS\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 6551B568A2D657A403213EA871B8C5EA
- [3.48] Datei "RF\_nacfront\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: AC27CA8D8D62C594D4005E3E28B8A2F9
- [3.49] Datei "RF\_shaft\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 09FA96F1B6BDCCD0DEB5789A699F256DD
- [3.50] Datei "RF\_Tower loads GL coordinates\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: FE833DACC68E86B0D3C8C4E2D57A1ED6
- [3.51] Datei "RF\_Blade 1 Rotated BLPoT Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 6A83EF7D896E070B8FF8F92B17D3D728
- [3.52] Datei "RF\_Blade root 1 Rotated Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 97A84AECDFED61D529685812691E092
- [3.53] Datei "RF\_Blade root 1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: AB9828435FFB135A83B819B1AF6FA0FA
- [3.54] Datei "HH112\BLN SFFred Dim BLN SFFredZeitgleiche\_BLN SFF red\_-\_Dim\_BLN SFF red\_SF.xlsx"  
MD5 Prüfsumme: 12AE270DF5B648595DA4761D492CEBD7
- [3.55] Datei "HH112\BLN SFFred Dim BLN SFFredZeitgleiche\_BLN SFF red\_-\_Dim\_BLN SFF red\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: AA0B1FD4B84799392ACDDCCC9806D8C0



- [3.56] Datei "HH112\BLN SFFred dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 9DCA9D8AE549F6F08ED049592523EA07
- [3.57] Datei "HH112\BLN SFFred dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: A870FE87E2CA160272A921FCA85745C0
- [3.58] Datei "HH132\BLN SFFred- dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 738CD4DCFAE49A9FB68DD08D9B92B255
- [3.59] Datei "HH132\BLN SFFred- dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: F4BAE7E989AF5CDCC6B66B25A98622BA
- [3.60] Datei "HH132\BLN SFFred- dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: B7928304DB77E33F9BCE42532B68BE38
- [3.61] Datei "HH132\BLN SFFred- dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: FA8303937DD231881459928F340B9FB7
- [3.62] Datei "HH140\BLN SFFred dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: A9498ED3DD2B42B915CCFD50210D3D22
- [3.63] Datei "HH140\BLN SFFred dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 013C2FA65026AD8F6FA85A0971B33D48
- [3.64] Datei "HH140\BLN SFFred dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: E7ECF168D6EB1BCBCC686D7DF7C533D1
- [3.65] Datei "HH140\BLN SFFred dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 8CD9D52B87670AE78CA93CAC175B3FB3
- [3.66] Datei "HH162\BLN SFFred - dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 57913FB53C485C7E2F927E49203B5B26
- [3.67] Datei "HH162\BLN SFFred - dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 306AB094D1AD2561E84E4E3812C18ADB
- [3.68] Datei "HH162\BLN SFFred - dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: D01799EC27473F5CB79CB8AA7BCE9E52
- [3.69] Datei "HH162\BLN SFFred - dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_Hub\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: E61526C464BD1909C5BA2900972C5BB9
- [3.70] Datei "HH175\BLN SFFred dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-  
\_Dim\_BLN SFF red\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: DC83D6700E49F8CFFD2FBBE58CB39861

- [3.71] Datei "HH175\BLN SFFred dim BLN SFFred\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-\_Dim\_BLN SFF red\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 0B1E2ED50F5D0E325CF9C331F5AD30B0
- [3.72] Datei "HH175\BLN SFFred dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-\_Dim\_Hub\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 9D50D6ACE94E72440848E478E0E185DC
- [3.73] Datei "HH175\BLN SFFred dim Hub\Zeitgleiche\_BLN SFF red\_-\_Dim\_Hub\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 27FA1625A639FE8EDE4E80F6BBBA35C0
- [3.74] Datei "Kreuztabelle\_std.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: EDABEF69A9128972B165706FE7EA7FC8
- [3.75] Datei "Kreuztabelle\_flanges.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 64C780F737D04350B2272A6F78346CB0
- [3.76] Datei "Kreuztabelle\_flanges\_shaft.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 8B01DAEF082E2F69015D49300A3FD492
- [3.77] Datei "Kreuztabelle\_Hub\_w.o.locked.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 42B2324A3D49D64B3E40DDD9019499DD
- [3.78] Datei "Kreuztabelle\_locked.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 8297954F9DF9F672133E94275B3C507D
- [3.79] Datei "Kreuztabelle\_locked8.1.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 1E8B1D169598FD9EE4CB8C67D00442E3
- [4] Datenträgerdatei: "D02833439\_2.1\_E-175 EP5;LL03 SC WCII TCA 8.5-2; Blade loads.zip"  
MD5 Prüfsumme: 0DF11BBFAE398E1C40A09E1FFBED7096

Die Prüfung umfasst die folgenden Dokumente:

- [4.1] Datei "DEL\_Blade 1 Rotated BLPoT Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 50C4529016215829A75A749A79841D49
- [4.2] Datei "DEL\_Blade root 1 Rotated Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 072D75D6CC6F4CEA0C578E702E743144
- [4.3] Datei "DEL\_Blade root 1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 5EAB0E04690EF36E39E87EA302DDF643
- [4.4] Datei "MV\_Blade\_root\_1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: F5944B7C5B4F56860FA713A0BCDB2F40
- [4.5] Datei "MV\_Blade\_root\_1\_Rotated\_Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 8F078067E70B3E097A873396DCEA5B89
- [4.6] Datei "MV\_Blade\_1\_Rotated\_BLPoT\_Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 7350329506C5D193DB579DCCA05AE9D4
- [4.7] Datei "RF\_Blade root 1 Rotated Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 97A84AECDFED61D529685812691E092
- [4.8] Datei "RF\_Blade root 1\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: AB9828435FFB135A83B819B1AF6FA0FA
- [4.9] Datei "RF\_Blade 1 Rotated BLPoT Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 6A83EF7D896E070B8FF8F92B17D3D728

- [4.10] Datei "DEL\_Blade 1 Loads Root axes.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 2B380AA91833B4822FC7985E3C215DAF
- [4.11] Datei "DEL\_Blade 1 Rotated BLPoT Loads\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 3657213BAB45FE528878C04EACBD3E22
- [4.12] Datei "DEL\_Blade 1 Loads\_Root axes\_env.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 83B94253F01B1B0213814519EAEA461B
- [4.13] Datei "360\_LL3\_LL3SC\_env\_BLP SFF red\_SF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 292FF27E836C977EDF4D62C1BFA8CDA0
- [4.14] Datei "360\_LL3\_LL3SC\_env\_NF.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 72C7CFA4DB2818E6D75CE92D1242EB60
- [5] Datei "D02938082\_0.0\_de-en\_Calculation\_E175 EP5; Mx Hub; Single blade assembly loads.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: e7782286e8d602bbd2f11051d6fa173c

## 1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von ENERCON erstellt, wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [6] "Design Base E-175 EP5 / E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02833990, rev.0.2, Datum 2023-11-10
- [7] Datei "D02833237\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175-EP5\_ST-112-FB-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.0-2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx",  
Dokument Nr. D02833237, rev. 0.0,  
MD5 Prüfsumme: C5DC979095C3C2150D0F01E724374131
- [8] Datei "D02833233\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175\_EP5-HST-132-FB-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.2\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx",  
Dokument Nr. D02833233, rev. 0.0 ,  
MD5 Prüfsumme: 90EE7C3C8137F7DA0B249A79E5C18B90
- [9] Datei "D02833234\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175\_EP5-HST-140-FB-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_8.5\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx",  
Dokument Nr. D02833234, rev. 0.0,  
MD5 Prüfsumme: 53E9260371004C12EC9ACBFDA6D3F4FB
- [10] Datei "D02833236\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175\_EP5\_-HT-162-ES-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx",  
Dokument Nr. D02833236, rev. 0.0,  
MD5 Prüfsumme: 414692DC408456F34DB17F627F044E4C
- [11] Datei "D02833235\_0.0\_de-en\_Calculation\_E-175\_EP5-HST-175-FB-C-01; LL03 SC\_WCII\_TCA\_7.8\_2.0; fatigue and ultimate loads; tower.xlsx",  
Dokument Nr. D02833235, rev. 0.0,  
MD5 Prüfsumme: 5FB30F8883E68D7BB65C6C7A454597A1
- [12] "Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5",  
Dokument Nr. D02765171, rev. 0.1-de, Datum 2022-09-26
- [13] "Load report E-175 EP5, E-175 EP5 E2 Fatigue- and ultimate loads as per IEC 61400-1 Ed. 4: 2019 and DIBt 2015",  
Dokument Nr. D02785544, Rev. 2.0, Datum 2023-05-14

- [14] "Load simulation process",  
Dokument Nr. D02785543, rev. 0.1, Datum 2023-02-21
- [15] "Reglerbeschreibung E-175 EP5, E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02784270, Rev. 3.1, Datum 2023-03-24
- [16] "Technische Beschreibung Sturmregelung ENERCON Windenergieanlagen",  
Dokument Nr. D0178786/14.0-de, Datum 2022-10-18
- [17] "Technische Beschreibung Anhalteprozeduren E-175 EP5",  
Dokument Nr. D02872531/1.0-de, Datum 2023-06-02
- [18] "Technical report Application and interpretation of the distributed turbulences method  
according to IEC 61400-1",  
Dokument Nr. D02385954, rev. 0.4, Datum 2021-06-22
- [19] "Technische Beschreibung ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Platform  
Independent Control System (PI-CS)",  
Dokument Nr. D02531399, rev.1.0-de, Datum 2022-10-05
- [20] Datei "D02785091\_1.0\_de-en\_Technical report\_Load case description for E-175 EP5.zip",  
Dokument Nr. D02785091, Rev. 1.0,  
MD5 Prüfsumme: C094BAB51AF6B47D8BC4EBF865028AF8
- [21] Datei "D02938073\_0.0\_de-en\_Technical description\_E-175 EP5 Loadcase Description for  
Single blade assembly.xlsx",  
MD5 Prüfsumme: 2c0fa079a19797b541b13d53a71d6511

Die verwendeten Eingabegrößen der Simulationsmodelle sowie die Reglerprogramme der Betriebsführung wurden elektronisch übermittelt. Die Dateien haben folgende Bezeichnung:

*NG-Yaw Control*

- [22] Regelungsdatei  
"ExternalLoads\_c062ac7.dll"  
MD5 Prüfsumme: 0C4A3A05797E67555C954611626C942F

*E-175 EP5 ST-112-FB-C-01*

- [23] Simulationsmodell  
Datei "D02785499-1.0 - SSET E-175 EP5 -ST-112-FB-C-  
01\07\_Zeitreihen\_s1\1.2q\_BV\_s1\1.2q\_s1011303\powprod.\$PJ",  
MD5 Prüfsumme: 606689D9815B04C6505C88D1757F3076
- [24] Regelungsdatei  
"Regler.dll"  
MD5 Prüfsumme: 17E489EA8306FD0B0171F731DF7D0643
- [25] Regelungsparameter  
"EP5\_E175\_\_E-175\_EP5\_ST\_112\_FB\_C\_01\_\_0.5.82.0\_\_Storm\_control.Daten"  
MD5 Prüfsumme: BEDBB3CDA90F426E98C6C413BDFAFE4E

*E-175 EP5 HST-132-FB-C-01*

- [26] Simulationsmodell  
Datei "D02785503-1.0 - SSET E-175 EP5 -HST-132-FB-C-  
01\07\_Zeitreihen\_s2\1.2q\_BV\_s2\1.2q\_s2011303\powprod.\$PJ",  
MD5 Prüfsumme: 43BEDD6EABF8EADC2F35A8B15D0559D8

- [27] Regelungsdatei  
"Regler.dll"  
MD5 Prüfsumme: 17E489EA8306FD0B0171F731DF7D0643
- [28] Regelungsparameter  
"EP5\_E175\_\_E-175\_EP5\_HST\_132\_FB\_C\_01\_\_0.5.82.0\_\_Storm\_control.Daten"  
MD5 Prüfsumme: 99825BA0E8BCC418D1090653E111AFF6
- E-175\_EP5\_E1-HST-140-FB-C-01*
- [29] Simulation Model  
File "D02833616-0\_OSSETE-175EP5-HST-140-FB-C-01\07\_Zeitreihen\_s2\1.2q\_BV\_s2\1.2q\_s2011303\powprod.\$PJ",  
MD5 Prüfsumme: B7796471E542561533F2DAFE007CCBF7
- [30] Regelungsdatei  
"Regler.dll"  
MD5 Prüfsumme: 17E489EA8306FD0B0171F731DF7D0643
- [31] Regelungsparameter  
"EP5\_E175\_\_E-175\_EP5\_HST\_140\_FB\_C\_01\_\_0.5.82.0\_\_Storm\_control.Daten"  
MD5 Prüfsumme: DD9B4C6DC5B1E4825CC7580012344F9C
- E-175 EP5 HT-162-ES-C-01*
- [32] Simulationsmodell  
Datei " D02785509-1.0 - SSET E-175 EP5 -HT-162-ES-C-01\07\_Zeitreihen\_s2\1.2q\_BV\_s2\1.2q\_s2011303\powprod.\$PJ",  
MD5 Prüfsumme: B88BDE96CD978DA30C91335B6A76AC54
- [33] Regelungsdatei  
"Regler.dll"  
MD5 Prüfsumme: 17E489EA8306FD0B0171F731DF7D0643
- [34] Regelungsparameter  
"EP5\_E175\_\_E-175\_EP5\_HT\_162\_ES\_C\_01\_\_0.5.82.0\_\_Storm\_control.Daten"  
MD5 Prüfsumme: 6619F58509AA08D24AF59657CA35EB73
- E-175 EP5 HST-175-FB-C-01*
- [35] Simulationsmodell  
Datei "D02785512-1.0 - SSET E-175 EP5 -HST-175-FB-C-01\07\_Zeitreihen\_s2\1.2q\_BV\_s2\1.2q\_s2011303\powprod.\$PJ",  
MD5 Prüfsumme: 44C4E9A241A820583CB52B33A4296157
- [36] Regelungsdatei  
"Regler.dll"  
MD5 Prüfsumme: 086e4cf1877ea11d8c4fc983a7530bf4
- [37] Regelungsparameter  
"EP5\_E175\_\_E-175\_EP5\_HST\_175\_FB\_C\_01\_\_0.5.83.0\_\_Storm\_control.Daten"  
MD5 Prüfsumme: ab6d0a2698abe374a80c2e21d9ee4cdf

## **2. Bewertungsgrundlage**

Die Beurteilung der Lastannahmen erfolgte gemäß folgenden Normen und Richtlinien:

- /1/ IECRE OD-501:2022
- /2/ IECRE OD-501-4:2017
- /3/ DIN EN 61400-22:2011
- /4/ DIN EN IEC 61400-1:2019
- /5/ DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen 2012, korrigierte Version 2015
- /6/ Bestätigungsschreiben vom DKE/AK 383.0.1 zur Verwendung in der DIBt Richtlinie 2015 mit DIN EN IEC 61400-1:2019

## **3. Beschreibung**

In den vorgelegten Lastannahmen [1.1] bis [5] wurden die Betriebsfestigkeits- und Extremlasten für den Maschinenbau und das Rotorblatt der Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 gemäß der Bewertungsgrundlage für Umgebungsbedingungen, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, berechnet.

Die Simulationen wurden sowohl mit starrer als auch mit weicher Einspannung durchgeführt.

### **3.1. Turbineneigenschaften**

Rotorblatttyp	E-175 EP5-RB-01
Rotordurchmesser	175 m
Blattmasse je Blatt	26671 kg
1. statische Moment je Blatt (bezogen auf Blattwurzel)	660740 kgm
Massenunwucht des Rotors (bezogen auf Nabenmitte)	1000 kgm
Nennleistung	6200 kW
Rotordrehzahlbereich	3,05 – 10,94 rpm
Rotornenndrehzahl	8,75 rpm
Triebstrangtyp	Direktgetrieben
Nabenhöhe über Geländeoberkante	112 m, 132 m, 140 m, 162 m und 175 m
Turmtyp	Stahlurm, Hybridturm
Nennwindgeschwindigkeit, $V_r$ (1 Sekunden Mittelwert)	11 m/s
Einschaltwindgeschwindigkeit, $V_{in}$ (10 Minuten Mittelwert)	2,5 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit, $V_{out}$ (10 Minuten Mittelwert) <sup>1</sup>	25 m/s

Tabelle 1: Turbineneigenschaften

<sup>1</sup> Für Windgeschwindigkeiten zwischen 21 m/s und 25 m/s wird die Leistung schrittweise reduziert.

### 3.2. Umgebungsbedingungen

	IEC	DIBt	Turmvariante
Extremer 50 Jahres Wind $V_{ref}$ (10 min Mittelwert)	42,5 m/s		Alle
Extremer Jahres Wind $V_1$ (10 min Mittelwert)	34,0 m/s		Alle
Turbulenzintensität bei Extremwind	11,0 %	11,34 %	E-175 EP5-ST-112-FB-C-01
		11,25 %	E-175 EP5-HST-132-FB-C-01
		11,22 %	E-175 EP5-HST-140-FB-C-01
		11,14 %	E-175 EP5-HT-162-ES-C-01
		11,09 %	E-175 EP5-HST-175-FB-C-01
Höhenexponent bei Extremwind	0,11	0,121	Alle
Turbulenzkategorie	A		Alle
Höhenexponent im Betrieb	0,1 / 0,2		E-175 EP5-ST-112-FB-C-01
	0,2		E-175 EP5-HST-132-FB-C-01
	0,2		E-175 EP5-HST-140-FB-C-01
	0,2		E-175 EP5-HT-162-ES-C-01
	0,2 / 0,4		E-175 EP5-HST-175-FB-C-01
Jährliche mittlere Windgeschwindigkeit	7,0 m/s		E-175 EP5-ST-112-FB-C-01
	7,2 m/s		E-175 EP5-HST-132-FB-C-01
	8,5 m/s		E-175 EP5-HST-140-FB-C-01
	7,8 m/s		E-175 EP5-HT-162-ES-C-01
	7,8 m/s		E-175 EP5-HST-175-FB-C-01
Weibull Form Faktor k	2,0		Alle
Anströmung von unten	8°		Alle
Luftdichte	1,225 kg/m <sup>3</sup>		Alle
Lebensdauer	25 Jahre		Alle

Tabelle 2: Umgebungsbedingungen

### 3.3. Eigenfrequenzen

Blatt	Frequenz
1. Biegefrequenz in Schlagrichtung	0,461 Hz
2. Biegefrequenz in Schlagrichtung	1,131 Hz
1. Biegefrequenz in Schwenkrichtung	0,712 Hz
2. Biegefrequenz in Schwenkrichtung	1,989 Hz

Tabelle 3: Eigenfrequenzen vom Blatt

Die Eigenfrequenzen der Türme können den jeweiligen Berichten zu den Turm- und Fundamentlasten ([7] bis [11]) entnommen werden.

### 4. Umfang der Bewertung

Die vorgelegten Lastannahmen in [1.1] bis [5] wurden auf Vollständigkeit und Richtigkeit gemäß den Anforderungen der Bewertungsgrundlage in Kapitel 2 geprüft.

Die Eingangsgrößen für das Simulationsmodell (enthalten in den Dateien [23], [26], [29], [32] and [35]) wurden auf Plausibilität geprüft.

### 5. Bemerkungen

Die vom Hersteller angegebenen Eingangsgrößen für das Simulationsmodell wurden als richtig vorausgesetzt (enthalten in den Dateien [23], [26], [29], [32] and [35]).

Lastrelevante Modifizierungen am Anlagendesign, inklusive des Steuerungs- und Sicherheitssystems, können nachträgliche Berechnungen erfordern.

#### 5.1. Betriebsfestigkeitslasten

Die Betriebsfestigkeitslasten für den Nachweis der Blattspitze können den Dokumenten [1.1] bis [1.4] entnommen werden.

Die Betriebsfestigkeitslasten für den Nachweis der maschinenbaulichen Komponenten für den Generatortyp "GT" können den Dokumenten [2.1] bis [2.22] entnommen werden.

Die Betriebsfestigkeitslasten für den Nachweis der maschinenbaulichen Komponenten für den Generatortyp "HP++" können den Dokumenten [3.1] bis [3.41] und [3.43] bis [3.53] entnommen werden. Die Lasten für die Rotorblattwurzel und den Turmkopf aus den Dokumenten [3.6] bis [3.10], [3.25] bis [3.27] und [3.50] bis [3.53] sind abdeckend für die Generatorvarianten HP++ und GT.

Die Betriebsfestigkeitslasten für den Nachweis der Rotorblätter können den Dokumenten [4.1] bis [4.12].entnommen werden.

Eislasten auf den Rotorblättern wurden während der Produktion nicht berücksichtigt, da diese Bedingungen vom Steuerungssystem erkannt werden und die Windkraftanlage in den Trudelbetrieb schaltet (siehe Dokument [19]).

Die schädigungsäquivalenten Lasten werden für eine Lastspielzahl von  $2 \cdot 10^6$  angegeben.

#### 5.2. Extremlastfälle

Die Extremlasten für den Nachweis der Blattspitze können Dokument [1.5] entnommen werden.

Die Extremlasten für den Nachweis der maschinenbaulichen Komponenten für den Generatortyp "GT" können Dokument [2.23] bis [2.25] entnommen werden.

Die Extremlasten für den Nachweis der maschinenbaulichen Komponenten für den Generatortyp "HP++" können den Dokumenten [3.42] und [3.54] bis [3.77] entnommen werden. Die hierbei enthaltenen Lasten für die Rotorblattwurzel und den Turmkopf aus Dokument [3.74] sind abdeckend für die Generatorvarianten HP++ und GT.

Die Extremlasten für den Nachweis der Rotorblätter können den Dokumenten [4.13] und [4.14] entnommen werden.

Die maximal auftretenden Blattdurchbiegungen unter Extrembedingungen sind in Dokument [3.74] aufgeführt.

Die Extremlasten für den Nachweis der Arretiervorrichtungen unter Wartungs-, Reparatur und Einzelblattmontage-Bedingungen können den Dokumenten [3.78], [3.79] und [5] entnommen werden.

In der Simulation wurden die Wartungs- und Reparaturzustände gemäß Anhang 1 und Dokument [21] angesetzt.

Für den DLC 8.1 wurde ein Last-Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma_F = 1,35$  angenommen.

## **6. Gutachtliche Stellungnahme**

Die zur Prüfung vorgelegten Lastannahmen, aufgelistet in Kapitel 1.1, entsprechen den Anforderungen der Bewertungsgrundlage in Kapitel 2 und des Design Basis Dokuments [6] und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die zur Prüfung vorgelegten Lastannahmen, aufgelistet in Kapitel 1.1, können den Festigkeitsnachweisen der maschinenbaulichen Komponenten und der Rotorblätter an erdbebenfreien Standorten mit Umgebungsbedingungen gemäß Kapitel 3.2 zugrunde gelegt werden.

Die nachfolgenden Auflagen sind zu beachten:

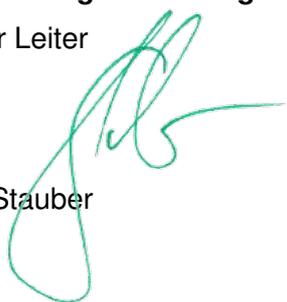
### **Auflagen**

1. Wartungsarbeiten sind nur bis zu Windgeschwindigkeiten, wie in Anhang 1 angegeben, zulässig.
2. Die 1. Biegeeigenfrequenzen der Rotorblätter dürfen nicht mehr als  $\pm 5\%$  von den in Kapitel 3.3 angegebenen Werten abweichen.
3. Bei Errichtung der Anlage in einem Windpark ist ohne weiteren Nachweis (z.B. in Form eines Turbulenzgutachtens) ein Mindestabstand zu benachbarten Windenergieanlagen einzuhalten, der dem 6,5-fachen Rotordurchmesser entspricht.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
**Abteilung Windenergieanlagen**

Der Leiter

J. Stauber



Der Sachverständige

A. Dürbaum



## Anhang 1: Berücksichtigte Wartungslastfälle (ohne Einzelblattmontage)

Beschreibung	Zulässige Windgeschwindigkeit <sup>2</sup>	Rotorlock (ja/nein)	Windrichtung	Rotor Azimut	Pitchwinkel Blatt 1	Pitchwinkel Blatt 2	Pitchwinkel Blatt 3
Pitch und Yaw Fehler	13 m/s	nein	0° - 360°	90°	100°	100°	100°
Pitch und Yaw Fehler	13 m/s	nein	0° - 360°	90°	0°	100°	100°
Pitch und Yaw Fehler	13 m/s	nein	0° - 360°	90°	45°	100°	100°
Blatt 2 in beliebiger Position mit abgeschaltetem Yaw-System	13 m/s	ja	0° - 360°	0° - 360°	100°	0° - 100°	100°

Tabelle 4: Wartungszustände (ohne Einzelblattmontage)

<sup>2</sup> Gemäß DIN EN 61400-1:2019 Kap. 7.4.9 wurden für die Simulation eine um 5 m/s höhere Windgeschwindigkeit angesetzt.



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 27.03.2024

**Prüfnummer:** 3743008-18-d-11 Rev. 1

**Objekt:** **Bewertung der Konstruktion – Maschinenbauliche  
Strukturen**  
Windenergieanlage Enercon E-175 EP5

**Hier:** Turmkopfflansch

**Prüfgrundlage:** IECRE OD-501:2022 ed. 3.0  
DIN EN 61400-22:2010  
DIBt 2012

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

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3743008-18-d-11 Rev. 1  
\_Enercon\_E-175-EP5\_TTF.docx

Das Dokument besteht aus  
7 Seiten.  
Seite 1 von 7

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

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Revision	Datum	Änderungen
0	26.06.2023	Erstfassung
1	27.03.2024	Design Basis [3] aktualisiert Lastenreferenz [4] auf Datenträgerabbild umgestellt, und Lastenprüfbericht [5] aktualisiert Redaktionelle Änderungen

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

### **Inhaltsverzeichnis**

1. Unterlagen.....	3
1.1. Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2. Eingesehene Unterlagen.....	3
2. Bewertungsgrundlage.....	3
3. Beschreibung .....	4
4. Umfang der Bewertung.....	5
5. Bemerkungen .....	5
6. Gutachtliche Stellungnahme.....	5
Auflagen .....	6
Annex: Für die Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 bewertete Komponenten .....	7



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von Enercon erstellt, wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 & E-175 EP5 E2 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange", Dokument Nr. D02891599, Rev. 1.1, vom 2023-06-02
- [2] "tower flange Turmflansch specification D3868-150xM30", Dokument Nr. D02133917, Rev. 0.1, vom 2021-02-05

### **1.2. Eingesehene Unterlagen**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von Enercon erstellt, wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [3] "Design Base E-175 EP5 / E175 EP5 E2", Dokument Nr. D02833990, Rev. 0.2, vom 2023-11-10
- [4] Datei: "D02832581\_0.1\_E175 EP5;LL03 SC; WCII TCA 8.5-2; Machine loads HP++.zip", MD5 checksum: 7411058568ae2f11bea4ddae3d38242
- [5] "Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion - Lastannahmen Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 Rotorblatt E-175 EP5-RB-01 Nabenhöhe 112 m, 132 m, 140 m, 162 m und 175 m über Geländeoberkante (Türme E-175 EP5-ST-112-FB-C-01, E-175 EP5-HST-132-FB-C-01, E-175 EP5-HST-140-FB-C-01, E-175 EP5-HT-162-ES-C-01, E-175 EP5-HST-175-FB-C-01) WEA-Klasse S und Windzone S hier: Maschinenbau- und Rotorblattlasten", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3743008-9-d-1, Revision 1, vom 12.12.2023

## **2. Bewertungsgrundlage**

### **2.1. Angewendete Standards**

Die Evaluierung der Dokumente erfolgte gemäß folgender Normen und Richtlinien:

- /1/ IECRE OD-501:2022 ed. 3.0 "Type and Component Certification Scheme"
- /2/ DIN EN 61400-22:2011 "Windenergieanlagen – Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung (IEC 61400-22:2010); Deutsche Fassung EN 61400-22:2011"
- /3/ DIN EN IEC 61400-1:2019 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Deutschen Fassung EN IEC 61400-1:2019
- /4/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012

### **2.2. Zusätzliche Standards**

Zur Evaluierung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /5/ DNVGL-ST-0361:2016 "Machinery for wind turbines"
- /6/ „Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen 2010“, erstellt von Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH
- /7/ DIN EN 1090-2:2011 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011“



- /8/ 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“
- /9/ 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“
- /10/ 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“
- /11/ DIN EN 10025-2:2019 “Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004“
- /12/ DIN EN 10025-3:2019 “Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle; Deutsche Fassung EN 10025-3:2019“
- /13/ DIN EN 10083-3:2006 “Vergütungsstähle –Teil 3: Technische Lieferbedingungen für legierte Stähle; Deutsche Fassung EN 10083-3:2006“
- /14/ DIN EN 14399-4:2006 „Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2005“
- /15/ DIN EN 14399-6:2006 „Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 6: Flache Scheiben mit Fase; Deutsche Fassung EN 14399-6:2005 + AC:2006“
- /16/ DASt – Richtlinie 021:2013 “Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“
- /17/ VDI 2230 Blatt 1:2014 “Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einschraubenverbindungen“
- /18/ VDI 2230 Blatt 2:2015 “Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Mehrschraubenverbindungen“
- /19/ IIW-1823-07:2008 “Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components”, herausgegeben von International Institute of Welding
- /20/ „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffe“, 6te Ausgabe, VDMA Verlag, 2012
- /21/ H. Gudehus and H. Zenner, “Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung“, 4te Ausgabe, Stahleisen GmbH, 1999

### **3. Beschreibung**

Die Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 ist eine pitch-gesteuerte, direkt getriebene Anlage mit horizontaler Achse und drei Rotorblättern. Die Blattwinklereinstellung wird durch einen elektro-mechanischen Blattverstellantrieb gewährleistet.

Der Turmkopfflansch ist auf das oberste Turmsegment geschweißt. Das Azimutlager, das als Rollenlager ausgeführt ist, wird mit einer einreihigen Schraubverbindung auf dem Turmkopfflansch befestigt.

Die Komponenten wurde für Normalklima und Kaltlima auf Basis der DIN EN 61400-1 /3/ nachgewiesen. Die vom Hersteller nachgewiesene Mindesteinsatztemperatur beträgt -40°C.



#### **4. Umfang der Bewertung**

Die Bewertung umfasst die Extrem- und Ermüdungsfestigkeitsnachweise für den Turmkopfflansch.

Die Prüfung beinhaltet den Turmkopfflansch und die Schweißnaht zwischen Turmkopfflansch und oberstem Turmsegment.

Die Prüfung beinhaltet keine weiteren Teile – namentlich:

- Schraubverbindung zwischen Turmkopfflansch und Azimutlager
- Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

die im Nachweisdokument [1] behandelt werden.

Die vorgelegten Konstruktionsunterlagen wurden auf Vollständigkeit und Richtigkeit geprüft sowie hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen der Prüfgrundlagen.

Die vorgelegten Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnung geprüft.

Die Prüfung der Zusammenbau- und Transportbedingungen war nicht Bestandteil der Prüfung.

#### **5. Bemerkungen**

##### **5.1. Allgemein**

Die maschinenbaulichen Strukturen wurden vom Hersteller entsprechend der Designbasis [3] nachgewiesen.

Der Nachweis des Turmkopfflansches wurde auf Basis der Lasten in [4] geführt. Die Lasten wurden von TÜV SÜD in [5] geprüft.

Die Nachweise der Turmkopfflansches wurden vom Hersteller mittels Finite-Elemente - Berechnungen geführt und von TÜV SÜD durch unabhängige Vergleichsrechnungen geprüft. Das vom Hersteller für die Nachweise verwendete Lastkollektiv wurde auch für die Prüfung verwendet und wurden auf Übereinstimmung mit den Lastannahmen der Lasteinhüllenden [4] geprüft.

Die in den eingereichten Nachweisen ausgewiesenen Restsicherheiten können innerhalb üblicher technischer Abweichungen bestätigt werden.

Im Rahmen der Bewertung der Konstruktion wurden die Herstellspezifikationen auf ihre Eignung überprüft, die Qualitätsanforderungen zu gewährleisten, die im Rahmen der Nachweise vorausgesetzt wurden.

##### **5.2. Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichts**

Eine neue Revision der Design Basis [3] wurde eingereicht (Revision 0 wurde durch Revision 0.2 ersetzt). Der Vergleich der neuen Revision zeigt keine für die Auslegung des Turmkopfflansches relevanten Änderungen zur bisherigen Revision. Die Auslegung der Türme ist ebenfalls nicht betroffen, sodass Revision 0.2 des Dokumentes [3] als gültige Entwurfsgrundlage der Türme betrachtet werden kann.

Die Lastenreferenz [4] wurde auf eine Datei umgestellt.

#### **6. Gutachtliche Stellungnahme**

Die zur Prüfung vorgelegten Dokumente für den Turmkopfflansch der Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 entsprechen den Anforderungen der Richtlinien IECRE OD-501 /1/ und DIN EN 61400-22 /2/ in Verbindung mit DIN EN 61400-1 /3/, sowie der Richtlinie für Windenergieanlagen des Deutschen Instituts für Bautechnik 2012 /3/ und erfüllen die



Anforderungen der Konstruktionsbasis [3]. Das Anlagendesign ist für Kalt Klimastandorte gemäß /3/ geeignet. Die Unterlagen sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Gegen den Einsatz des Turmkopfflansches wie im Anhang gelistet in der Windenergieanlage E-175 EP5 mit Lastbedingungen entsprechend Lastdokument [4] bestehen keine Einwände.

Die nachfolgenden Auflagen sind zu beachten:

### **Auflagen**

1. Der Korrosionsschutz der Komponenten ist in regelmäßigen Abständen, zumindest jedoch einmal jährlich zu prüfen. Im Fall von Beschädigungen ist er unverzüglich in Stand zu setzen.
2. Wiederholt auftretende oder schwere Schäden an den maschinenbaulichen Strukturen sind TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Abteilung Windenergie anzuzeigen.

### **TÜV SÜD Industrie Service GmbH Abteilung Windenergieanlagen**

Bewertung

M. Schmalstieg

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Schmalstieg', written over a light blue grid background.

Evaluierung

Dr.-Ing. H. Masching

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dr.-Ing. H. Masching', written over a light blue grid background.



**Annex: Für die Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 bewertete Komponenten**

Komponente	Zeichnung Nr.	Rev.	Material/Type	Nachweis- dokument	Gültige Lasten	
					Nachweis	Zusätzlich
Turmkopfflansch	D02133917 [2]	0.1	S355N	[1]	[4]	-

**Tabelle 1: Bewertete Komponenten**



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## **Gutachtliche Stellungnahme**

Datum: 27.03.2024

**Bericht Nr.:** 3821605-40-d-4 Rev. 0

**Objekt:** **Evaluierung der Konstruktion -  
Maschinenbauliche Strukturen,  
Maschinenbauliche Komponenten und  
Verkleidungen**

Windenergieanlage Enercon E-175 EP5

**Grundlage der  
Evaluierung:** IECRE OD-501:2022 Ed. 3.0  
DIN EN 61400-22:2011 und  
DIBt 2012

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

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3821605-40-d-  
4\_rev0\_Enercon\_E-175  
EP5\_MC-SC-  
Housings.docx

Seite 1 von 35

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

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

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

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

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
Energie und Systeme  
Windenergie  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	27.03.2024	Erstfassung

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente.....	4
1.1	Evaluierte Dokumente.....	4
1.2	Eingesehene Dokumente .....	10
2	Grundlagen der Evaluierung .....	17
2.1	Angewendete Standards .....	17
2.2	Zusätzliche Standards.....	18
3	Beschreibung .....	19
3.1	Eigenschaften .....	19
3.2	Lastannahmen .....	19
3.3	Umweltbedingungen .....	20
4	Umfang der Evaluierung.....	20
5	Bemerkungen.....	21
5.1	Blattlager.....	22
5.2	Blattverstellantrieb.....	22
5.3	Blattarretierung .....	22
5.4	Rotorlager .....	22
5.5	Azimutlager .....	23
5.6	Azimutantrieb .....	23
5.7	Azimutbremse .....	23
5.8	Kühlsystem .....	24
5.9	Schmiersystem .....	24
5.10	Rotornabe .....	24
5.11	Rotorarretierung.....	25
5.12	Generatorrotor .....	25
5.13	Stator Grundrahmen .....	25
5.14	Hauptlagereinheit.....	25
5.15	Maschinenträger .....	26
5.16	Schraubverbindungen .....	26
5.17	Lastvergleich.....	26
5.18	Maschinenhausverkleidung.....	27
5.19	Personenanschlagpunkte.....	27
6	Gutachtliche Stellungnahme .....	27



Auflagen .....	27
Anhang: Evaluierte Komponenten .....	29



## **1 Dokumente**

### **1.1 Evaluierte Dokumente**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von ENERCON Global GmbH erstellt, wurden zur Evaluierung vorgelegt:

#### **1.1.1 Blattlager**

##### *1.1.1.1 LIEBHERR COMPOENENTS BIBERACH GmbH*

- [1] "Technical data sheet", erstellt von Liebherr, Dokument Nr. TD\_ROD03340-045DJ18-001\_en, Revision 02, vom 28.06.2023 Enercon Nr. D02910002, Revision 1.0
- [2] "Report FEA", erstellt von Liebherr, Dokument Nr. 20230606\_fea03340-045DJ18-001\_rev0\_Enercon\_E-175\_EP5\_PiB, Revision 0, vom 06.06.2023 Enercon Nr. D02910004, Revision 1.0
- [3] "ROLLENDREHVERBINDUNG ROLLER SLEWING RING", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. ROD03340-045DJ18-001-000, Revision 06.1, vom 16.01.2024 Enercon Nr. D02833985, Revision 7.0

##### *1.1.1.2 Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH (TKRE)*

- [4] "Technical data sheet rothe erde® Large Diameter Slewing Bearing", erstellt von TKRE Dokument Nr. 21250\_01, Revision 01, vom 10.10.2023 Enercon Nr. D02909658, Revision 1.0
- [5] "Supplement to Technical Data Sheet 21250\_00 rothe erde® Large Diameter Slewing Bearing", erstellt von TKRE Dokument Nr. 21386\_00, Revision 00, vom 15.08.2023
- [6] "Drehverbindung Slewing Bearing", erstellt von TKRE Zeichnung Nr. 192.45.3338.000.48.140D, Revision A, vom 25.10.2023 Enercon Nr. D02896515, Revision 3.0

##### *1.1.1.3 TMB® Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd*

- [7] "TMB Slewing Bearing Calculation Report", erstellt von TMB Dokument Nr. CR2023-05-18/1, Revision 1, vom 18.05.2023 Enercon Nr. D02896524, Revision 2.0
- [8] "Pitch bearing", erstellt von TMB Zeichnung Nr. B133.45.3340K, Revision 2, vom 24.10.2023 Enercon Nr. D02899176, Revision 3.1

#### **1.1.2 Blattverstellantrieb**

##### *1.1.2.1 LIEBHERR COMPOENENTS BIBERACH GmbH*

- [9] "Calculation Pitch Gearbox", erstellt von Liebherr, Dokument Nr. 2023 / 012-2, Revision -, vom 28.04.2023 Enercon Nr. D02779228, Revision 4.1



- [10] "DREHWERKANTRIEB SLEWING GEAR DRIVE DAT400/4445", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 13792637-99, Revision 03.2, vom 28.04.2023  
Enercon Nr. D02752711, Revision 3.0
- [11] "DREHWERKANTRIEB SLEWING GEAR DRIVE DAT400/4445-V1", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 13864123-99, Revision 00.4, vom 28.04.2023  
Enercon Nr. D02876731, Revision 1.0
- [12] "ABTRIEBSWELLE OUTPUT SHAFT M=18 Z=14", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 368 460 4000 10 0, Revision 04.1, vom 22.11.2022
- [13] "DREHWERKANTRIEB SLEWING GEAR DRIVE DAT400/4445", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 13799009-00, Revision 00.3, vom 22.09.2022

#### 1.1.2.2 Bonfiglioli Trasmital

- [14] "TECHNICAL REPORT PITCH DRIVE E-175 EP5 / E-175 EP5 E2", erstellt von Bonfiglioli, Dokument Nr. I23007D, Revision 1, vom 26.05.2023  
Enercon Nr. D02906233, Revision 0.0
- [15] "SPECIAL GEARBOX 711 T3N WITH SPECIAL ELECTRIC MOTOR ADAPTOR IEC 132", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. CD00022149, Revision C, vom 03.10.2023  
Enercon Nr. D02737893, Revision 2.0
- [16] "PINION SHAFT M18,0 Z14 H150", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. YZ00011612, Revision -, vom 15.09.2022
- [17] "Gearbox 1:240.3 m18 z14 P132", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. AD00008200, Revision -, vom 15.09.2022
- [18] "MOTOR VSDMOT BMD 132L 74 1000 360 B5 38 K 55 TC1 ENC F24", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. CD00023704, Revision 01, vom -  
Enercon Nr. D02758556, Revision 0.0

#### 1.1.3 Blattarretierung

- [19] "Pitch locking assy LP4", Zeichnung Nr. 20-902797, Revision D, vom 03.05.2018
- [20] "Pitch lock shaft", Zeichnung Nr. 20-902652, Revision C, vom 03.05.2018
- [21] "Pitch bearing lock plate", Zeichnung Nr. 20-902795, Revision C, vom 03.05.2018
- [22] "Clamp plate", Zeichnung Nr. 20-902807, Revision A, vom 30.06.2017



## 1.1.4 Rotorlager

### 1.1.4.1 Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH

- [23] "TECHNICAL REPORT Enercon E-175 EP5 HP++, Mainshaft Bearing Calculation", erstellt von TKRE, Dokument Nr. 23/07, Revision 00, vom 20.03.2023  
Enercon Nr. D02885608, Revision 0.1
- [24] "SINGLE-ROW TAPERED ROLLER BEARING", erstellt von TKRE  
Dokument Nr. PSL612-402-1, Revision 1, vom 17.08.2022  
Enercon Nr. D02748780, Revision 0.1

### 1.1.4.2 LIEBHERR COMPOENENTS BIBERACH GmbH

- [25] "Technical data sheet E-175 EP5 HP++", erstellt von Liebherr, Dokument Nr. TD\_HLE01970-110ZO18-V01\_E-175 EP5 HP++EN, Revision 00, vom 25.04.2023  
Enercon Nr. D02895890, Revision 0.0
- [26] "KEGELROLLENDREHVERBINDUNG TAPERED ROLLER SLEWING RING", erstellt von Liebherr, Dokument Nr. KED01970-110EO18-001-000, Revision 01.1, vom 13.12.2023  
Enercon Nr. D02795661, Revision 1.0

## 1.1.5 Azimutlager

### 1.1.5.1 Thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH

- [27] "Technical Data Sheet rothe erde Large Diameter Slewing Bearing", erstellt von TKRE  
Dokument Nr. 21185\_02, Revision 02, vom 10.05.2023,  
Enercon Nr. D02895140, Revision 1.0
- [28] "Supplement to drawing rothe erde Large Diameter Slewing Bearing", erstellt von TKRE  
Dokument Nr. 20990\_01, Rev. 01, vom 10.05.2023  
Enercon Nr. D02791669, Revision 1.0
- [29] "Supplement to Technical Data Sheet 21185\_02 rothe erde Large Diameter Slewing Bearing", erstellt von TKRE  
Dokument Nr. 21387\_00, Revision 00, vom 29.08.2023
- [30] "Rollendrehverbindung Roller bearing slewing ring", erstellt von TKRE  
Zeichnung Nr. 192.32.3976.000.44.150D, Revision B, vom 21.12.2023  
Enercon Nr. D02791667, Revision 3.0

### 1.1.5.2 LIEBHERR COMPOENENTS BIBERACH GmbH

- [31] "Technical data sheet Wind Turbine Yaw bearing E-175 EP5 und E-175 EP5 E2", erstellt von Liebherr,  
Dokument Nr. TD\_ROD03993-032DJ18-001-000\_en\_00\_E175EP5, Revision 00, vom 24.04.2023  
Enercon Nr. D02895137, Revision 0.0
- [32] "ROLLENDREHVERBINDUNG ROLLER SLEWING RING", erstellt von Liebherr,  
Zeichnung Nr. ROD03993-032DJ18-001-000, Revision 02.1, vom 05.10.2023  
Enercon Nr. D02792752, Revision 3.0



#### 1.1.5.3 TMB® Tianma (Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd

- [33] "TMB Slewing Bearing Calculation Report", erstellt von TMB, Dokument Nr. CR2023-03-21/2, Revision 2, vom 12.05.2023 Enercon Nr. D02882436, Revision 1.0
- [34] "Yaw bearing", erstellt von TMB, Zeichnung Nr. Y133.38.3993K, Revision 2, vom 05.05.2023 Enercon Nr. D02797135, Revision 1.0

#### 1.1.6 Azimutantrieb

##### 1.1.6.1 LIEBHERR COMPOENENTS BIBERACH GmbH

- [35] "Calculation Yaw Gearbox", erstellt von Liebherr, Dokument Nr. 2023 / 021-1.0, Revision -, vom 12.04.2023 Enercon Nr. D02895154, Revision 0.0
- [36] "SLEWING GEAR DRIVE DAT450/4422", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 13521946-99, Revision 03.8, vom 27.04.2023 Enercon Nr. D02545790, Revision 5.0
- [37] "SLEWING GEAR DRIVE DAT450/4422-V1", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 13856204-99, Revision 01.3, vom 27.04.2023 Enercon Nr. D02872007, Revision 1.0
- [38] "OUTPUT SHAFT M=22 Z=12", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 13714613-00, Revision 02.9, vom 12.01.2023
- [39] "SLEWING GEAR DRIVE DAT 450/4422", erstellt von Liebherr, Zeichnung Nr. 468 422 4000 00 0, Revision 04.1, vom 15.03.2023

##### 1.1.6.2 Bonfiglioli Trasmital

- [40] "TECHNICAL REPORT YAW DRIVE E-175 EP5 and E-175 EP5 E2", erstellt von Bonfiglioli, Dokument Nr. I23152D, Revision -, vom 07.06.2023 Enercon Nr. D02915703, Revision 0.0
- [41] "GEARBOX FOR YAW DRIVE 7T 14 W 4 RXXC S023 B 1583 P132 T LCD\*", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. CD00024217, Revision -, vom 30.11.2022 Enercon Nr. D02808837, Revision 0.0
- [42] "PINION SHAFT M22 Z12 H214", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. YP00027495, Revision A, vom 26.04.2022
- [43] "Gearbox 7T 14 W 4 RXXC S023 B 1583 P132 T LCD\*", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. AD00008425, Revision A, vom 07.02.2023
- [44] "MOTOR BMD 132L 74 2000 500 B5 38 K 55 TC1 ENC F24", erstellt von Bonfiglioli, Zeichnung Nr. CD00019588, Revision A, vom 19.11.2021 Enercon Nr. D02485818, Revision 1.0



### **1.1.7 Azimutbremse**

- [45] "Berechnung Nachweis der Azimutbremse E-175 EP5 und E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02789805, Revision 0.1, vom 28.04.2023
- [46] "Statement, Load Simulation departement Deenergised Yaw-Slipping",  
Dokument Nr. D02948073, Revision 0.0, vom 25.09.2023

### **1.1.8 Kühlsystem**

- [47] "Technisches Datenblatt Technische Daten Kühlsysteme E-175 EP5",  
Dokument Nr. D02936467, Revision 0.1, vom 22.08.2023

### **1.1.9 Schmiersystem**

No documents

### **1.1.10 Rotornabe**

- [48] "rotor hub EP5-ROH-02 Rotornabe EP5-ROH-02",  
Zeichnung Nr. D02941150, Revision 2.0, vom 24.11.2023
- [49] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converters E-175 EP5 E-175 EP5 E2 Rotor  
Hub Ultimate and Fatigue Strength",  
Dokument Nr. D02897462, Revision 3.0, vom 12.12.2023
- [50] "Betriebsfestigkeit von Löchern mit vorgespannten Schrauben in Gussbauteilen",  
Dokument Nr. D02965516, Revision 0, vom 27.11.2023

### **1.1.11 Rotorarretierung**

- [51] "pin Generator tapered lock pin Stift Konischer Verriegelungsstift des Generators",  
Zeichnung Nr. D02781529, Revision 0.0, vom 21.12.2022

### **1.1.12 Generatorrotor**

- [52] "rotor Rotor Frame EP5 Rotor Rotor Rahmen EP5",  
Zeichnung Nr. D02869487, Revision 0.0, vom 05.05.2023

### **1.1.13 Stator Grundrahmen**

- [53] "base frame Stator base frame Grundrahmen Stator Grundrahmen",  
Zeichnung Nr. D02814993, Revision 0.0, vom 03.05.2023
- [54] "Calculation Report, ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 Stator Base Frame,  
Finite Element Analyses (FEA)",  
Dokument Nr. D02903664, Revision 0.0, vom 17.05.2023
- [55] "Calculation Report, ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 Stator Base Frame,  
Strength Analyses (SA)",  
Dokument Nr. D02905485, Revision 1.0, vom 03.08.2023

### **1.1.14 Hauptlagereinheit**

- [56] "main bearing Main bearing housing machined Hauptlager",  
Zeichnung Nr. D02872071, Revision 1.0, vom 31.03.2023



- [57] “carrier Bearing carrier machined Fahrgestell”,  
Zeichnung Nr. D02799486, Revision 1.1, vom 14.03.2023
- [58] “press plate main bearing press ring Dia 1900x120 Pressplatte Hauptlagerpressring Dia 1900x120”,  
Zeichnung Nr. D02749044, Revision 0.0, vom 29.09.2022

#### **1.1.15 Maschinenträger**

- [59] “Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5, E-175 EP5 E2 Main Carrier Ultimate and Fatigue Strength”,  
Dokument Nr. D02890867, Revision 0.0, vom 15.05.2023
- [60] “main carrier EP5-MC-02 Maschinenträger EP5-MC-02”,  
Zeichnung Nr. D02833308, Revision 0.0, vom 24.03.2023

#### **1.1.16 Schraubverbindungen**

##### *1.1.16.1 Blattlager – Rotornabe*

- [61] “Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 & E-175 EP5 E2 Bolted connection at blade flange bearing Ultimate and Fatigue Strength”,  
Dokument Nr. D02881539, Revision 0.0, vom 27.07.2023

##### *1.1.16.2 Rotornabe – Rotorträger – Generatorrotor*

- [62] “Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 Bolted Connection Rotor Carrier to Rotor Hub Ultimate and Fatigue Strength”,  
Dokument Nr. D02911261, Revision 0.2, vom 07.07.2023

##### *1.1.16.3 Achszapfen – Stator Grundrahmen – Maschinenträger*

- [63] “Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 BC Main Carrier – Bearing Carrier Ultimate and Fatigue Strength”,  
Dokument Nr. D02900471, Revision 0.0, vom 13.06.2023

##### *1.1.16.4 Turmkopfflansch – Azimutlager – Maschinenträger*

- [64] “Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 & E-175 EP5 E2 Bolted Connection - Yaw Bearing and Tower Head Flange”, only bolted joints are in the scope of this report,  
Dokument Nr. D02891599, Revision 1.1, vom 02.06.2023

#### **1.1.17 Lastvergleich**

- [65] “Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 Load Comparison Ultimate and Fatigue Strength”,  
Dokument Nr. D02936679, Revision 2.0, vom 03.11.2023
- [66] “Design Statement ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 Description of taken over components – load comparison”,  
Dokument Nr. D02973249, Revision 0.0, vom 18.12.2023



### 1.1.18 Maschinenhausverkleidung

- [67] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 & E-175 EP5 Roof Module and Anchorage Points Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02833304, Revision 2, vom 03.07.2023
- [68] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 E1 E-Nacelle Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02895842, Revision 1.1, vom 22.03.2024
- [69] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 E-Nacelle Fatigue Strength",  
Dokument Nr. D02985175, Revision 1.1, vom 09.02.2024
- [70] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 E-Nacelle: support main carrier reinforcement SAP 1074116 SAP 1074117 Fatigue Strength",  
Dokument Nr. D02986409, Revision 1, vom 05.03.2024
- [71] CAD File name "D02927212\_1.0\_E-175 EP5 E-Nacelle Structural Overview for TÜV.jt",  
MD5 Checksum 35F907FBD78789C1F4F0B092FC700B6A, Revision 1.0, vom -
- [72] Tabular data, file name: "D03005965\_0.0-en\_comparison between drawing and model number (Document list)",  
Dokument Nr. D03005965, Revision -, vom -  
MD5 Checksum: 1F967C6F8DAEC8D74EC767DA077FAB7C
- [73] "support main carrier left reinforcement",  
Dokument Nr. D02762608, Revision 1.0, vom 30.01.2023
- [74] "support main carrier right reinforcement",  
Dokument Nr. D02764233, Revision 1.0, vom 30.01.2023

### 1.1.19 Personenanschlagpunkte

- [75] "Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Anchorage Points at Nacelle Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02809635, Revision 1.2, vom 12.01.2024
- [76] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 Additional Anchorage Points at E-Nacelle SAP 1073777 (Side panel / front left) SAP 1073779 (Side panel / front right) Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02910759, Revision 1.0, vom 12.01.2024
- [77] "holder rotor hub outside Halterung Rotornabe aussen",  
Zeichnung Nr. D02880382, Revision 0.1, vom 11.10.2023
- [78] "Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-175 EP5 / E-175 EP5 E2 Rotor Hub: Safety Pipe assembly",  
Dokument Nr. D02914696, Revision 0.3, vom 26.09.2023

## 1.2 Eingesehene Dokumente

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von <Hersteller> erstellt, wurden im Rahmen der Evaluierung zusätzlich herangezogen:

- [79] "Design Base E-175 EP5 / E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02833990, Revision 0.2, vom 10.11.2023



- [80] "Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen",  
Dokument Nr. D0666243, Revision 6.1, vom 12.10.2023
- [81] Data Carrier file: "D02832581\_0.1\_E175 EP5;LL03 SC; WCII TCA 8.5-2; Machine loads HP++.zip",  
MD5 checksum: 7411058568ae2f11bea4ddaee3d38242
- [82] File "D02938082\_0.0\_de-en\_Calculation\_E175 EP5; Mx Hub; Single blade assembly loads.xlsx",  
MD5 checksum: 4a7b5ea159ff89b1dbfe9b9437ba62bc
- [83] "Technical specification Load preparation pitch system E-175 EP5 and E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02737837, Revision 1.0, vom 20.04.2023
- [84] "Calculation Load preparation main bearing E-175 EP5",  
Dokument Nr. D02799163, Revision 0.1, vom 21.04.2023
- [85] "Lastaufbereitung Azimutverstellsystem E-175 EP5 und E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02789804, Revision 0.1, vom 21.04.2023
- [86] "Specification Strength assessment methods Cast iron and non-welded steel parts",  
Dokument Nr. D02696435, Revision 0.2, vom 18.07.2023
- [87] "Spezifikation MK 02 004 – Qualitätssicherung Sphärogussteile",  
Dokument Nr. D0246506, Revision 2, vom 28.06.2017
- [88] "MK 01 009 – Stahlbauteile",  
Dokument Nr. D0586805, Revision 9.0, vom 11.05.2022
- [89] "Specification Strength assessment methods Welded steel parts",  
Dokument Nr. D02873889, Revision 0.1, vom 21.07.2023
- [90] "Investigation Request Further design/certification requirements for welding drawings",  
Dokument Nr. IR00108965, Revision 0, vom 30.08.2023
- [91] "Technische Spezifikation MK 06 005 – 8.1: Montagevorgaben für Schraubenverbindungen im Maschinenbau",  
Dokument Nr. D0204747, Revision 8.1, vom 18.04.2023
- [92] "Spezifikation MK 06 000 -5 Sicherheitsrelevante Verbindungselemente",  
Dokument Nr. D0203293, Revision 5, vom 04.03.2013
- [93] "Evaluation Report Wind Turbine Platform LP4 / EP5 - Machinery Components -", erstellt von TÜV NORD,  
Dokument Nr. 8114242475-4 E, Revision 15, vom 10.10.2022
- [94] "Evaluation Report Wind Turbine Platform ENERCON EP5 - Machinery Components -", erstellt von TÜV NORD,  
Dokument Nr. 8119201822-4 E, Revision 3, vom 02.02.2023
- [95] "GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME Windenergieanlagen ENERCON EP5 - Maschinenbauliche Komponenten -", erstellt von TÜV NORD,  
Dokument Nr. GS-8119201822-004-001, Revision 04, vom 27.11.2023



- [96] "Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion - Lastannahmen Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 Rotorblatt E-175 EP5-RB-01 Nabenhöhe 112 m, 132 m, 140 m, 162 m und 175 m über Geländeoberkante (Türme E-175 EP5-ST-112-FB-C-01, E-175 EP5-HST-132-FB-C-01, E-175 EP5-HST-140-FB-C-01, E-175 EP5-HT-162-ES-C-01, E-175 EP5-HST-175-FB-C-01) WEA-Klasse S und Windzone S hier: Maschinenbau- und Rotorblattlasten", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3743008-9-d-1, Revision 1, vom 12.12.2023
- [97] "Evaluation Report Design Basis Evaluation Wind Turbine ENERCON E-175 EP5 Hub heights 112 m, 132 m, 140 m, 162 m, 175 m Rotor Blade Type E-175 EP5-RB-01 for WT-class S", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3743008-1-e-0, Revision 0, vom 04.12.2023

### 1.2.1 Blattlager

- [98] "Technical specification Pitch bearing 3RD-m18-z166-h293", Dokument Nr. D02737825, Revision 3.0, vom 03.05.2023
- [99] "blade flange bearing 3RD-m18-z166-143-h293 Blattflanschlager 3RD-m18-z166-143-h293", Zeichnung Nr. D02756263, Revision 3.0, vom 03.05.2023
- [100] "Operator's manual Roller slewing ring ROD03340-045DJ18-001", erstellt von LIEBHERR, Dokument Nr. -, Revision 00, vom 12.07.2023  
Enercon Nr. D02931373, Revision 0.0
- [101] "Instruction for Installation, Maintenance and Greasing of Slewing Bearing", erstellt von TMB, Dokument Nr. TM03.1-535-2023, Revision 01/0, vom 21.07.2023  
Enercon Nr. D02931375, Revision 0.0

### 1.2.2 Blattverstellantrieb

- [102] "Technical specification Supplement to pitch gear specification E-175 EP5; E-175 EP5 E2", Dokument Nr. D02787600, Revision 1.0, vom 20.04.2023
- [103] "Requirements Specification Pitch Motor 45/180", Dokument Nr. D02735048, Revision 0.0, vom 15.07.2022
- [104] "Assembly instructions Slewing gear drive DAT 400/4445", erstellt von LIEBHERR, Dokument Nr. -, Revision 01, vom 12.12.2022  
Enercon Nr. D02922995, Revision 0.0
- [105] "Maintenance manual Slewing gear drive DAT 400/4445", erstellt von LIEBHERR, Dokument Nr. -, Revision 01, vom 12.12.2022  
Enercon Nr. D02923012, Revision 0.0
- [106] "Slew drives for yaw and pitch drives for wind turbines", erstellt von Bonfiglioli, Dokument Nr. MAN\_serie700TW\_FL\_IS, Revision 1.8, vom 04.07.2023
- [107] "pitch gear m18-z14-b150-i240 Blattverstellgetriebe m18-z14-b150-i240", Zeichnung Nr. D02689749, Revision 2.0, vom 03.11.2022
- [108] "Technical specification Pitch gear m18-z14-b150-i240", Dokument Nr. D02675126, Revision 2.0, vom 10.11.2022



### 1.2.3 Blattarretierung

- [109] "Strength analysis of the maintenance locking devices LP4 and EP5",  
Dokument Nr. M00-C2-40-000273, Revision 5, vom 08.06.2020  
Enercon Nr. D02243766, Revision 0.0

### 1.2.4 Rotorlager

- [110] "Technical specification Main bearing E-175 EP5 HP++",  
Dokument Nr. D02780289, Revision 1.1, vom 16.02.2023
- [111] "taper roller bearing 1-d1720-D2200-B270 Kegelrollenlager 1-d1720-D2200-B270",  
Zeichnung Nr. D02713698, Revision 0.0, vom 29.06.2022
- [112] "nacelle E-175 EP5 Gondel E-175 EP5",  
Zeichnung Nr. D02769354, Revision 0.0, vom 27.09.2022
- [113] "rotor bearing unit Overview E-175 EP5 Rotorlagereinheit Übersicht E-175 EP5",  
Zeichnung Nr. D02826958, Revision 0.1, vom 21.06.2023

### 1.2.5 Azimutlager

- [114] "Technical specification Yaw bearing 3RD-m22-z168i-b210",  
Dokument Nr. D02735233, Revision 1.0, vom 15.12.2022
- [115] "Technical specification Supplement to yaw bearing specification E-175 EP5 and E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02869147, Revision 0.3, vom 09.05.2023
- [116] "yaw bearing 3RD-m22-z168-b210 Azimutlager",  
Zeichnung Nr. D02758145, Revision 0.2, vom 14.12.2023
- [117] "Technical Data Sheet rothe erde® Large Diameter Slewing Bearing", erstellt von TKRE,  
Dokument Nr. 21185\_02, Revision 02, vom 10.05.2023  
Enercon Nr. D02895140, Revision 1.0
- [118] "Operator's manual Roller slewing ring ROD03993-032DJ18-001", erstellt von LIEBHERR,  
Dokument Nr. 13827329, Revision 00, vom 30.06.2023
- [119] "Instruction for Installation, Maintenance and Greasing of Slewing Bearing", erstellt von TMB,  
Dokument Nr. TM03.1-535-2023, Revision 01/0, vom -

### 1.2.6 Azimutantrieb

- [120] "Technical specification Supplement to yaw gear specification E-175 EP5 and E-175 EP5 E2",  
Dokument Nr. D02869454, Revision 0.0, vom 21.03.2023
- [121] "Requirements Specification NG-Yaw Motor (soft brake)",  
Dokument Nr. D02581962, Revision 0.1, vom 31.01.2022
- [122] "yaw gear m22-z12-b214-i1588 Azimutgetriebe m22-z12-b214-i1588",  
Zeichnung Nr. D02284188, Revision 0.3, vom 29.09.2021
- [123] "Technical specification Yaw Gear m22-z12-b214-i1588",  
Dokument Nr. D02219255, Revision 2.0, vom 15.07.2022



### 1.2.7 Azimutbremse

Keine Dokumente

### 1.2.8 Kühlsystem

- [124] "Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 Kühlsysteme",  
Dokument Nr. D02915399, Revision 0.1, vom 23.06.2023
- [125] "Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E2 Kühlsysteme",  
Dokument Nr. D02931369, Revision 0.1, vom 21.07.2023
- [126] "Technical specification generator cooling fan EP5",  
Dokument Nr. D02784722, Revision 1.0, vom 15.12.2022
- [127] "Technical specification EP5 R1 Design specification filter & air duct",  
Dokument Nr. D02815162, Revision 0.1, vom 26.01.2023
- [128] "Technical specification generator intakes top side EP5",  
Dokument Nr. D02912279, Revision 0.0, vom 21.06.2023
- [129] "EP5; Design specification cooling fans E-nacelle", erstellt von Lagerwey",  
Dokument Nr. M02-C5-30-10952-R1, Revision R1, vom 24.03.2021  
Enercon Nr. D02313010, Revision 0.0
- [130] "EP5 Design specification nacelle cooling inlet", erstellt von Lagerwey",  
Dokument Nr. M02-C5-30-10980-R0, Revision R0, vom 24.03.2021  
Enercon Nr. D02313012, Revision 0.0

### 1.2.9 Schmiersystem

- [131] "Change Notification CO01005839/0 E-175 EP5 Hub - Grease pan",  
Dokument Nr. D02831605, Revision 0.0, vom 13.06.2023

#### 1.2.9.1 Azimutlager

- [132] "Technical specification Zentralschmiereinheit / 6-20-1-BEM-S-Eth-02",  
Dokument Nr. D02700991, Revision 0.1, vom 05.09.2022
- [133] "centralized lubricating system Zentralschmiereinheit 6-20-1-BEM-S-Eth-02",  
Zeichnung Nr. D02757557, Revision 0.0, vom 08.09.2022
- [134] "Technical specification Zentralschmiereinheit / 4-2-1-AG11-S-Eth-02",  
Dokument Nr. D02753456, Revision 0.1, vom 05.09.2022
- [135] "centralized lubricating system Zentralschmiereinheit 4-2-1-AG11-S-Eth-02",  
Zeichnung Nr. D02757569, Revision 0.0, vom 08.09.2022

#### 1.2.9.2 Blattlager

- [136] "Technical specification Centralized lubrication system 4-3-1-AG11-R-Eth-03",  
Dokument Nr. D02912701, Revision 0.0, vom 23.06.2023
- [137] "centralized lubricating system Zentralschmiereinheit 4-3-1-AG11-R-Eth-02",  
Zeichnung Nr. D02910699, Revision 0.0, vom 23.06.2023
- [138] "Technical specification Centralized lubrication system / 20-54-4-BEM-R-Eth-01",  
Dokument Nr. D02912708, Revision 0.1, vom 08.09.2023



[139] "centralized lubricating system Zentralschmiereinheit 20-54-4-BEM-R-Eth-01",  
Zeichnung Nr. D02910794, Revision 0.1, vom 23.06.2023

### **1.2.10 Rotornabe**

[140] "rotor blade assembly E-175 EP5-RB-01 Rotorblatt Zusammenbau E-175 EP5-RB-01",  
Zeichnung Nr. D02909109, Revision 0.0, vom 03.07.2023

### **1.2.11 Rotorarretierung**

[141] "Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Generator  
Locking Device Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02811343, Revision 0.0, vom 06.01.2023

[142] "Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Generator  
Locking Device FEA",  
Dokument Nr. D02811342, Revision 0.0, vom 06.01.2023

[143] "CCS-3821605-40-e-4-9\_rev-5\_Enercon\_E175\_DE\_StructureLoadComparsion\_EC-  
comments\_2024-01-22\_\_CLOSED.docx", erstellt von TÜV SÜD,  
Dokument Nr. CCS-3821605-40-e-4-9, Revision 5, vom 22.01.2024

### **1.2.12 Generatorrotor**

[144] "SA of the EP5-E160-E2 Rotor Frame", erstellt von Lagerwey,  
Dokument Nr. M03-C2-40-000743, Revision R0, vom 13.11.2020  
Enercon Nr. D02250783, Revision 0.0

### **1.2.13 Stator Grundrahmen**

[145] "Calculation Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 Stator base  
frame, Strength Analyses (SA)",  
Dokument Nr. D02814930, Revision 0.2, vom 12.01.2023

### **1.2.14 Hauptlagereinheit**

[146] "SA of EP5-E160-E2 main bearing assembly", erstellt von Lagerwey,  
Dokument Nr. M03-C2-40-000739, Revision R0, vom 12.11.2020  
Enercon Nr. D02250775, Revision 0.0

### **1.2.15 Maschinenträger**

[147] "tower flange Turmflansch specification-D3868-150xM30 Spezifikation-D3868-150xM30",  
Zeichnung Nr. D02133917, Revision 0.1, vom 05.02.2021

### **1.2.16 Schraubverbindungen**

[148] "Specification Strength assessment methods Bolt connections",  
Dokument Nr. D02731341, Revision 0.1, vom 08.06.2023

[149] "Experimentelle Untersuchung zur Ermittlung der Haftreibungszahl in der Trennfuge",  
erstellt von Fraunhofer IGP  
Dokument Nr. P-Fh-AGP-1803-014, Revision 01, vom 16.08.2018  
Enercon Nr. D0735484, Revision 0.1



#### **1.2.16.1 Rotorblatt – Blattlager – Rotornabe**

[150] “blade connection blade flange machined Blattanschluss Blattflansch bearbeitet”,  
Zeichnung Nr. D02880756, Revision 0.0, vom 04.05.2023

#### **1.2.16.2 Rotorträger – Generatorrotor**

[151] “SA of EP5-E160-E2 main bearing bolted connections”, erstellt von Lagerwey,  
Dokument Nr. M03-C2-40-000741, Revision R0, vom 14.11.2020  
Enercon Nr. D02250779, Revision 0.0

#### **1.2.16.3 Achszapfen – Stator Grundrahmen – Maschinenträger**

[152] “stud bolt Gen to Nac double end stud M42 10.9 HDG”,  
Zeichnung Nr. D02815223, Revision 0.0, vom 29.03.2023

#### **1.2.16.4 Schraubparameter für über-elastisch angezogene Schrauben**

[153] “Technische Spezifikation Schraubparameter WEA: E-175 EP5 Schraubverbindung:  
Blattlager – Rotornabe”,  
Dokument Nr. D02978813, Revision 0.2, vom 16.01.2024

[154] “Spezifikation Schraubparameter für Schraubverbindung WEA: E-115 EP3 E4, E-138  
EP3 E3, E-160 EP5 E3 R1, E-175 EP5 Schraubverbindung: Azimutgetriebe –  
Maschinenträger”,  
Dokument Nr. D02498397, Revision 2.0, vom 06.12.2023

[155] “Spezifikation Schraubparameter für Schraubverbindung WEA: E-160 EP5 E3, E-160  
EP5 E3 R1, E-115 EP3 E4, E-138 EP3 E3, E-175 EP5, E-175 EP5 E2  
Schraubverbindung: Azimutlager – Maschinenträger ”,  
Dokument Nr. D02249831, Revision 3.0, vom 16.06.2023

[156] “Technische Spezifikation Schraubparameter WEA: E-147 EP5 E2, E-160 EP5 x, E-175  
EP5 Schraubverbindung: Achsdeckel - Achszapfen”,  
Dokument Nr. D03000943, Revision 0.1, vom 27.02.2024

#### **1.2.17 Lastvergleich**

No documents

#### **1.2.18 Maschinenhausverkleidung**

[157] “GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME Windenergieanlagen ENERCON EP5 -  
Verkleidungen & Strukturen -” erstellt von TÜV NORD,  
Dokument Nr. GS-8119201822-012-001-04, Revision 4, vom 27.11.2023

[158] “Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 E-Nacelle  
SAP 1055358 Ultimate Strength”,  
Dokument Nr. D02815169, Revision 1, vom 06.03.2023

[159] “Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 E-Nacelle,  
floor panels SAP 1055358 Live Loads ”,  
Dokument Nr. D02894498, Revision 0.0, vom 20.04.2023

[160] “Certification Comments Sheet (CCS) ENEROCN | E-175EP5 | Nacelle Cover | DE”,  
erstellt von TÜV SÜD  
Dokument Nr. CCS-3821605-420-e-1, Revision 4, vom 20.03.2024



### **1.2.19 Personenanschlagpunkte**

- [161] "Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 / E-138 EP3 E2, Anschlagpunkte Rotornabe",  
Dokument Nr. D0872445, Revision 0, vom 28.08.2019
- [162] "Calculation Report, ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3 R1 & E-175 EP5, Roof Module and Anchorage Points",  
Dokument Nr. D02833304, Revision 2.0, vom 03.07.2023
- [163] "Certification report, ENERCON Wind Energy Converter E-138 EP3 E3, Anchorage Points at Nacelle, Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02550733, Revision 0.0, vom 02.12.2021
- [164] "Verification for Certification, ENERCON Wind Energy Converter E-160 EP5 E3, Anchorage Points at Nacelle, Ultimate Strength",  
Dokument Nr. D02457731, Revision 1.0, vom 25.02.2022
- [165] "Lagerwey Wind L100 & L93, Strength analysis of the fall protection eyes",  
Dokument Nr. 40-00046, Revision 2, vom 11.02.2014
- [166] "SA of EP5 nacelle covers, hub spinners and machinery safety anchor points",  
Dokument Nr. 40-000605, Revision 2, vom 14.08.2020
- [167] "Evaluation Report on the Assessment of the Wind Turbines Lagerwey L 100 & L82 according to IEC 61400-1, Ed. 3 (2005) - Machinery Components -", erstellt von TÜV Nord,  
Dokument Nr. 8109 735 063 - 4 E, Revision 6, vom 22.12.2017
- [168] "Evaluation Report Wind Turbine ENERCON E-138 EP3 E3 and E-115 EP3 E4 - Covers & Structures -", erstellt von TÜV Nord, erstellt von TÜV Nord,  
Dokument Nr. 8119224863-12 E, Revision 1, vom 24.10.2022
- [169] "Certification Report Design Evaluation – Nacelle Cover and Spinner Wind Turbine ENERCON/Lagerwey E160 EP5 – 4800 kW , WT Class IIIA", erstellt von TÜV SÜD,  
Dokument Nr. 3261218-1-e, Revision 1, vom 20.07.2020
- [170] "Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON E-138 EP3 E2 - Maschinenbauliche Komponenten -", erstellt von TÜV Nord,  
Dokument Nr. 8117142915-4, Revision 4, vom 14.11.2022

## **2 Grundlagen der Evaluierung**

### **2.1 Angewendete Standards**

Die Evaluierung der Dokumente erfolgte gemäß folgender Normen und Richtlinien:

- /1/ IECRE OD-501:2022 Ed. 3.0 "Type and Component Certification Scheme (wind turbines)"
- /2/ DIN EN 61400-22:2011 "Windenergieanlagen – Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung (IEC 61400-22:2010); Deutsche Fassung EN 61400-22:2011"
- /3/ DIN EN IEC 61400-1:2019 „Windenergieanlagen – Teil 1 Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Deutschen Fassung EN IEC 61400-1:2019



- /4/ "Richtlinie für Windenergieanlagen", herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012/Bt 2012 "Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015"

## 2.2 Zusätzliche Standards

Zur Evaluierung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /5/ ISO 6336-1:2006 "Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors"
- /6/ ISO 6336-2:2006 "Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 2: Calculation of surface durability (pitting)"
- /7/ ISO 6336-3:2006 "Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 3: Calculation of tooth bending strength"
- /8/ ISO 6336-5:2016 "Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 5: Strength and quality of materials"
- /9/ ISO 6336-6:2006 "Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 6: Calculation of service life under variable load"
- /10/ ISO 76:2006 "Rolling bearings – Static load ratings"
- /11/ ISO 281:2007 "Rolling bearings; Dynamic load ratings and rating life"
- /12/ DIN 743-1:2012 "Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 1: Grundlagen"
- /13/ EN ISO 898-1:2013 "Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread"
- /14/ VDI 2230:2015 Part 1 "Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einschraubenverbindungen"
- /15/ VDI 2230:2014 Part 2 "Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Mehrschraubenverbindungen"
- /16/ DIN EN 1993-1-8:2010 + NA:2010 "Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Bemessung von Anschlüssen"
- /17/ DIN EN 1993-1-9:2010 + NA:2010 "Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Ermüdung"
- /18/ DIN EN 1993-1-10:2010 + NA:2010 "Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung"
- /19/ DIN EN 1563:2012 "Gießereiwesen – Gusseisen mit Kugelgraphit; Deutsche Fassung EN 1563:2011"
- /20/ DIN EN 10025-3:2005 "Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle; Deutsche Fassung EN 10025-3:2004"
- /21/ DIN EN 10083-3 "Vergütungsstähle – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für legierte Stähle; Deutsche Fassung EN 10083-3:2006"



- /22/ DIN EN 14399-4:2015 "Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015"
- /23/ DIN EN 14399-6:2015 "Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubverbindungen für den Metallbau – Teil 6: Flache Scheiben mit Fase; Deutsche Fassung EN 14399-6:2015"
- /24/ "Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffe", 6. Ausgabe, VDMA Verlag, 2012
- /25/ H. Gudehus and H. Zenner, "Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung", 4te Ausgabe, Stahleisen GmbH, 1999

### 3 **Beschreibung**

#### 3.1 **Eigenschaften**

Die Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 hat folgende Eigenschaften hinsichtlich der maschinenbaulichen Strukturen, der maschinenbaulichen Komponenten und der Verkleidungen:

Typ der Windenergieanlage:	Direktgetrieben, horizontale Achse
Pitchdrehverbindung:	Dreireihige Rollendrehverbindung, elektromechanisch
Rotorlager:	Zwei einreihige Kegelrollenlager in "O"-Anordnung
Rotorbremse:	Generator-E-Bremse
Azimutdrehverbindung:	Dreireihige Rollendrehverbindung, 8 elektromechanische Azimutantriebe
Maschinenhausverkleidung	Integrierter Teil der tragenden Struktur "E-Nacelle"
Nabenverkleidung	Keine

**Tabelle 1: Eigenschaften der Windenergieanlage**

#### 3.2 **Lastannahmen**

Die Extremlasten und Betriebsfestigkeitslasten für die Komponenten der Windenergieanlage sind in den entsprechenden Excel-Tabellen (Tabelle 2) definiert.

Für den Nachweis einiger maschinenbaulichen Komponenten wurden die Lastspezifikationen [83] bis [85] verwendet. Die Lastspezifikationen [83] bis [85] stimmen mit den Excel-Tabellen aus [81] überein.

Die Lastannahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.



Varianten der Windenergieanlage	Lastannahme(n)	Evaluierung der Lastannahmen
E-175 EP5	Datenträgerdatei D02832581_0.1 [81] Lasten der Einzelblattmontage D02938082_0.0 [82]	3743008-9-d-1 Rev. 1 [96]

Tabelle 2: Lastannahmen

### 3.3 Umweltbedingungen

Gemäß der Konstruktionsbasis für kaltes Klima [80] werden die Komponenten der Windenergieanlagen für Kaltklimabedingungen mit Betriebstemperaturen bis zu  $-30^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{C}$  mit reduzierter Leistung) und Überlebenstemperaturen bis zu  $-40^{\circ}\text{C}$  nachgewiesen. In der Konstruktionsbasis [79] ist die Obergrenze der Betriebstemperatur und die Überlebenstemperatur auf  $+40^{\circ}\text{C}$  bzw.  $+50^{\circ}\text{C}$  festgelegt.

## 4 Umfang der Evaluierung

Die eingereichten Dokumente zur Konstruktion wurden im Hinblick auf die Normen und Richtlinien in Kapitel 2 dieser Stellungnahme und die Konstruktionsbasis [79] und [80] evaluiert.

Die folgenden Komponenten waren Teil der Evaluierung:

### Maschinenbauliche Komponenten

1. Blattlager
2. Blattverstellantrieb
3. Blattarretierung
4. Rotorlager
5. Azimutlager
6. Azimutantrieb
7. Azimutbremse
8. Kühlsystem
9. Schmiersystem

### Maschinenbauliche Strukturen

10. Rotornabe
11. Rotorarretierung
12. Generatorrotor
13. Generatorstator (Stator Grundrahmen)
14. Hauptlagereinheit
  - Rotorträger (Hauptlagergehäuse)
  - Achszapfen (Hauptlagerträger)
  - Achsdeckel (Pressring)
15. Maschinenträger
16. Schraubverbindungen
  - Blattlager – Rotornabe
  - Rotornabe – Rotorträger



- Achszapfen – Stator Grundrahmen – Maschinenträger
- Rotorträger – Generatorrotor
- Achszapfen – Achsdeckel
- Turmkopfflansch – Azimutlager – Maschinenträger
- Maschinenhausverkleidung (E-Nacelle) – Maschinenträger

### **Verkleidungen und Zugehöriges**

18. Maschinenhausverkleidung (E-Nacelle)
19. Personenanschlagpunkte

Die vorgelegten Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnung evaluiert.

Die vorgelegten Spezifikationen wurden auf Übereinstimmung mit den verwendeten Lasten

Die Evaluierung der Zusammenbau- und Transportbedingungen war nicht Bestandteil der Evaluierung.

## **5 Bemerkungen**

Die maschinenbaulichen Komponenten, die maschinenbaulichen Strukturen und die Verkleidungen wurden vom Hersteller entsprechend der Konstruktionsbasis [79] und [80] nachgewiesen. Die Konstruktionsbasis wurde von TÜV SÜD in [97] evaluiert.

Wenn nicht anders angegeben, wurden die eingereichten Nachweise durch Vergleichsrechnung auf Richtigkeit und Vollständigkeit und auf Übereinstimmung mit der Konstruktionsbasis evaluiert.

Wenn nicht anders angegeben, können die in den vorgelegten Nachweisen angegebenen rechnerischen Restsicherheiten im Rahmen der üblichen technischen Abweichungen bestätigt werden. Künftige Lastvergleiche für die Komponenten sind auf der Grundlage der ursprünglichen Nachweise durchzuführen.

Wenn nicht anders angegeben, entsprechen die in den Spezifikationen der Komponenten angegebenen Lasten den in Kapitel 3.2 genannten Lastspezifikationen. Wenn Markov-Matrizen oder Zeitreihen für die Evaluierung verwendet wurden, wurden sie auf Übereinstimmung mit der DEL (Damage Equivalent Load) der Lastspezifikation in Kapitel 3.2 evaluiert.

Die synthetischen Wöhlerlinien wurden basierend auf der Spezifikation [86] ermittelt.

Die vorgelegten Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnung evaluiert. Die vorgelegten Spezifikationen wurden auf Übereinstimmung mit den relevanten Parametern der Berechnungen überprüft.

Die Anforderungen an die Herstellungsprozesse, die zum Erreichen der im Rahmen der Konstruktion angenommene Qualität erforderlich sind, werden als geeignet angesehen.

Eine Übersicht über die evaluierten Komponenten findet sich im Anhang.

Für alle evaluierten Komponenten werden im Folgenden die zugrunde liegenden Zeichnungen, Nachweise und Lasten angegeben.



## 5.1 Blattlager

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Liebherr	ROD03340-045DJ18-001-000 Rev. 06.1 [3]	[1] [2]	[83]	Spec [98]
TKRE	192.45.3338.000.48.140D Rev. A [6]	[4]	[83]	Spec [98]
TMB	B133.45.3340K Rev. 2 [8]	[7]	[83]	Spec [98]

Tabelle 3 evaluierte Blattlager

## 5.2 Blattverstellantrieb

Der Elektromotor für die Blattvestellung des Lieferanten Bonfiglioli [18] entspricht den Anforderungen der Spezifikation [103].

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Liebherr	13792637-99 Rev. 03.2 [10]	[9]	[83]	Technische Spezifikation [108]
	13864123-99 Rev. 004 [11]			
Bonfiglioli	CD00022149 Rev. C [15]	[14]		

Tabelle 4 evaluierte Blattverstellantriebe

## 5.3 Blatтарыerung

Die Blatтарыerung ist eine tragbare Wartungseinrichtung, die zur Fixierung des Blattlagers und des Rotorblattes bei Wartungsarbeiten am Pitchsystem oder beim Austausch des Blattverstellantriebs dient. Der Zusammenbau der Blatтарыerung ist in [19] dargestellt.

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Blatтарыerung Zusammenbau	20-902797, Rev. D [19]	[109]	[66]	Lastvergleich [65]

Tabelle 5 evaluierte Blatтарыerung

## 5.4 Rotorlager

Das Hauptlager besteht aus zwei einreihigen Kegelrollenlagern [24] und [26] in O-Anordnung. Die Innenringe sind auf dem Achszapfen [57] montiert, der mit dem Stator Grundrahmen [53] verschraubt ist, der wiederum mit dem Maschinenträger [60] verschraubt ist. Die Außenringe sind im rotierenden Lagergehäuse (Rotorträger) [56] montiert, das mit der Rotornabe [48] und auf der anderen Seite mit dem Generatorrotor [52] verschraubt ist.



Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
TKRE	PSL612-402-1 Rev. 1 [24]	[23]	[84]	Technische Spezifikation [110]
Liebherr	KED01970-110EO18-001-000 Rev. 01.1 [26]	[25]		

**Tabelle 6** evaluierte Rotorlager

### 5.5 Azimutlager

Die Spezifikation für die Azimutlager [30], [32] and [34] ist im Dokument [114] enthalten.

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
TKRE	192.32.3976.000.44.150D Rev. B [30]	[27]	[85]	Technische Spezifikation [114]
Liebherr	ROD03993-032DJ18-001-000 Rev. 02.1 [32]	[31]		
TMB	Y133.38.3993K Rev. 2 [34]	[33]		

**Tabelle 7** evaluierte Azimutlager

### 5.6 Azimutantrieb

Der Elektromotor für die Azimutsteuerung und die Getriebemontage wurden von dem Lieferanten Bonfiglioli [44] gemäß den Anforderungen der Spezifikation [121] montiert.

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Liebherr	13521946-99 Rev. 03.8 [36]	[35]	[85]	Technische Spezifikation [123]
	13856204-99 Rev. 01.3 [37]			
Bonfiglioli	CD00024217 Rev. - [41]	[40]		

**Tabelle 8** evaluierte Azimutantriebe

### 5.7 Azimutbremse

Die Azimutbremse besteht aus den integrierten Motorbremsen der Azimutantriebe [44]. Der Maschinenträger bietet Platz für bis zu 12 Antriebe, die in zukünftigen Turbinenplattformen für höhere Lasten installiert werden können. Die vorgelegten Nachweise basieren auf 8 Azimutantrieben.



Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Bonfiglioli	CD00019588 Rev. A [44]	[45]	[85]	Lastsimulation [46]

**Tabelle 9** evaluierte Azimutbremse

## 5.8 Kühlsystem

Das Kühlsystem der Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 besteht aus zwei Kühlsystemen, dem Flüssigkeitskühlsystem und dem Luftkühlsystem. Die Mittelspannungskomponenten und die Leistungselektronik werden durch das Flüssigkeitskühlsystem gekühlt. Das Luftkühlsystem ist Teil des Generators und der Gondel.

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Enercon		[47]		Techn. Beschreibung EP5 [124] Techn. Beschreibung EP5 E2 [125]

**Tabelle 10** evaluierte Kühlsysteme

## 5.9 Schmiersystem

Die Schmierstoffversorgung der Zahnflanken wird über ein Schmierzahnrad [131] sichergestellt.

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Enercon	D02757557 Rev. 0.0 [133]	-	-	Technische Spezifikation [132]
	D02757569 Rev. 0.0 [135]	-	-	Technische Spezifikation [134]
	D02910699 Rev. 0.0 [137]	-	-	Technische Spezifikation [136]
	D02910794 Rev. 0.1 [139]	-	-	Technische Spezifikation [138]

**Tabelle 11** evaluierte Schmiersysteme

## 5.10 Rotornabe

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Gusseisen	D02941150 Rev. 2.0 [48]	[49]	[81]	Methode: [50] Lastvergleich für Betriebsfestigkeitslasten: [65]

**Tabelle 12** evaluierte Rotornabe



### 5.11 Rotorarretierung

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
4 Bolzen gleichzeitig im Einsatz	D02781529, Rev. 0.0 [51]	[141]	[82]	Lastvergleich [65]

Tabelle 13 evaluierte Rotorarretierung

### 5.12 Generatorrotor

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Schweiß-konstruktion	D02869487, Rev. 0.0 [52]	[144]	[81]	Lastvergleich [65] zus. Nachweise für Rotorarretierungs-lasten [143]

Tabelle 14 evaluierter Generatorrotor

### 5.13 Stator Grundrahmen

Die Evaluierung des Stator Grundrahmens erfolgte auf der Grundlage eines Vergleichs mit dem Stator Grundrahmen [145], der in Aufbau und Belastung nahezu identisch ist und bereits in [95] von TÜV NORD evaluiert wurde.

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Schweiß-konstruktion	D02814993 Rev. 0.0 [53]	[54], [55]	[81]	Spec.: [88] to [90] Vgl.: [95], [145] Lastvergleich für Betriebsfestigkeits-lasten: [65]

Tabelle 15 evaluierter Stator Grundrahmen

### 5.14 Hauptlagereinheit

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Rotorträger	D02872071, Rev. 1.0 [56]	[146]	[81]	Lastvergleich [65]
Achszapfen	D02799486, Rev. 1.1 [57]			
Achsdeckel	D02749044, Rev. 0.0 [58]			

Tabelle 16 evaluierte Hauptlagereinheit



## 5.15 Maschinenträger

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
Gusseisen	D02833308 Rev. 0.0 [60]	[59]	[81]	Spec: [86], [87] Lastvergleich für Betriebsfestigkeitslasten: [65]

Tabelle 17 evaluierter Maschinenträger

## 5.16 Schraubverbindungen

Gemäß der Spezifikation [92] erfüllen die Schraubverbindungen die Normen der EN ISO 898-1 /13/. Außerdem wird der Charpy-Kerbschlagbiegeversuch für feuerverzinkte Schrauben bei -40 °C durchgeführt. Daher sind die Schraubverbindungen für den Einsatz in kaltem Klima geeignet.

Die Anzugsparameter für die überelastisch angezogenen Schraubverbindungen sind in den Spezifikationen [153] bis [156] angegeben.

Einzelheiten zu den evaluierten Schraubverbindungen sind im Anhang, Abschnitt 16 zu finden.

## 5.17 Lastvergleich

Einige Komponenten der Hauptlagerbaugruppe sowie einige anschließende Teile wurden von der Lagerwey E-160 EP5 Plattform übernommen und mit vernachlässigbaren Änderungen in die E-175 EP5 integriert. Die entsprechenden Komponenten wurden vom TÜV NORD in [93] bis [95] evaluiert. Die Anwendbarkeit für die Lasten der E-175 EP5 wurde von ENERCON in [65] nachgewiesen. Die Migration von Lagerwey-Zeichnungen in ENERCON-Zeichnungen ist in [66] nachvollziehbar.

Die durch Lastvergleiche nachgewiesenen Komponenten sind

- Hauptlagereinheit (Innenring (Achszapfen)), Außenring (Rotorträger) und Achsdeckel (Pressring))
- Verschraubung des Achsdeckel
- Generatorrotor
- Rotorarretierungsbolzen
- Schraubverbindung des Generatorrotors mit dem Rotorträger
- Blatarretierungsvorrichtung

Die folgenden Komponenten wurden für die Verwendung im E-175 EP5 neu entworfen und von ENERCON nachgewiesen, aber die Eignung für den endgültigen einhüllenden Lasten in Bezug auf Betriebsfestigkeit wurde durch einen Lastvergleich in [65] nachgewiesen:

- Rotornabe
- Generatorstator
- Maschinenträger



## 5.18 Maschinenhausverkleidung

Bezeichnung	Zeichnung	Nachweis	Lasten für Nachweis	Zus. Dokumente
E- Nacelle	D02927212, Rev. 1.0 [71]	[67], [68], [69], [70]	[81], Windlasten, Verkehrslasten	-

**Tabelle 18 evaluierte Maschinenhausverkleidung**

Die Maschinenhausverkleidung für die Windenergieanlage Enercon E-175 wird E-Nacelle genannt. Die E-Nacelle von Enercon E-160 EP5 R1 und die E-Nacelle von Enercon E-175- EP5 sind hinsichtlich des begehbaren Daches identisch, unterscheiden sich aber geringfügig in den übrigen Teilen. Die Nachweise für das begehbare Dach der E-160 EP5 R1 und die Personenanschlagpunkte 1.2.19 bis [166] sind bereits von TÜV NORD in [157], [167], [168], [170] und von TÜV SÜD in [169] evaluiert. Die Nachweise der Personenanschlagpunkte [75], [76] und [77] mit [78] sind von TÜV SÜD geprüft.

Weitere E-175 EP5 E-Nacelle spezifische Nachweise [67], [68], [69], [70], insbesondere hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeitsnachweise für Unterstrukturen [73] und [74] wurden von TÜV SÜD entweder auf Ähnlichkeit mit der E-160 Analge, durch Plausibilitätsprüfung oder Vergleichsrechnung evaluiert. Die Bruchzähigkeit und die Eigenschaften in Dickenrichtung wurden von Enercon in [160] nachgewiesen.

## 5.19 Personenanschlagpunkte

Siehe 5.18.

## 6 Gutachtliche Stellungnahme

Die zur Evaluierung der Konstruktion der maschinenbaulichen Komponenten, der maschinenbaulichen Strukturen und der Verkleidungen vorgelegten Dokumente für die Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 entsprechen den Anforderungen der in Kapitel 2.1 angegebenen Zertifizierungsschemas und Standards sowie der Konstruktionsbasis [79] und [80], sofern die nachstehenden Bedingungen erfüllt sind.

Die Komponenten wurden für die im Anhang aufgeführten Turbinenkonfigurationen evaluiert.

### Auflagen

1. Der Korrosionsschutz der Komponenten ist in regelmäßigen Abständen, zumindest jedoch einmal jährlich zu prüfen. Im Fall von Beschädigungen ist er unverzüglich in Stand zu setzen.
2. Die Schraubverbindungen sind mit Anzugsverfahren wie in den jeweiligen Nachweisen angenommen anzuziehen. Es ist sicherzustellen, dass die in den Nachweisen angenommenen Vorspannkräfte durch die angewandten Verfahren und Anzugsmomente erreicht werden. Schraubverbindungen, die nicht überelastisch angezogen sind, müssen nach der Inbetriebnahme mindestens einmal nachgezogen werden, um Verluste in der Vorspannung aufgrund des Setzens der Kontaktflächen gemäß dem Handbuch auszugleichen.



3. Untergeordnete Komponenten, die nicht explizit in den genannten Strukturnachweisen behandelt wurden, sind derart auszulegen, dass die zulässige Beanspruchbarkeit der verwendeten Materialien nicht überschritten wird.
4. Die Auflagen der referenzierten gutachtlichen Stellungnahmen sind zu berücksichtigen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
**Abteilung Windenergieanlagen**

Bewertung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Schmalstieg'. The signature is fluid and cursive.

M. Schmalstieg

Evaluierung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Zhenhuo Luo'. The signature is fluid and cursive.

Z. Luo



## Anhang: Evaluierte Komponenten

### 1. Blattlager

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Liebherr	R0D03340-045DJ18-001-000 Rev. 06.1 [3]	dreireihiges Rollendrehverbindung Artikelcode 13803472	Ja	X
TKRE	192.45.3338.000.48.140D Rev. A [6]	dreireihiges Rollendrehverbindung Materialnummer 84212560	Ja	X
TMB	B133.45.3340K Rev. 2 [8]	dreireihiges Rollendrehverbindung	Nein	X

### 2. Blattverstellantrieb inkl. AC-Motor

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Liebherr	13792637-99 Rev. 03.2 [10]	mehrstufiges Planetengetriebe DAT400/4445 Artikelcode 13792637	Nein	X
	13864123-99 Rev. 004 [11]	mehrstufiges Planetengetriebe DAT400/4445-V1 Artikelcode 13864123	Ja	X
Bonfiglioli	CD00022149 Rev. C [15]	mehrstufiges Planetengetriebe 711T Prod. Code JZ00006008	Ja*	X
	CD00023704 Rev. 1 [18]	AC-Motor	Ja	X

\* Die Betriebstemperatur für den Bonfiglioli Blattverstellantrieb gilt für -30°C bis +60°C und weicht damit von der Spezifikation ab, die einen höheren Temperaturbereich (-40°C bis +60°C) fordert.



### 3. Blattarretierung

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Blattarretierung Zusammenbau	20-902797, Rev. D [19]	S355 J2+N	N/A*	X

\*) Die Blattarretierung wird nur bei normalen Umgebungstemperaturen angewendet. Daher nicht relevant für CCV.

### 4. Rotorlager

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
TKRE	PSL612-402-1 Rev. 1 [24]	2 einreihige Kegelrollenlager in "O"-Anordnung	Ja	X
Liebherr	KED01970-110EO18-001-000 Rev. 01.1 [26]	2 einreihige Kegelrollenlager in "O"-Anordnung	Ja	X

### 5. Azimutlager

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
TKRE	192.32.3976.000.44.150D Rev. B [30]	dreireihiges Rollendrehverbindung Materialnummer 84166340	Ja	X
Liebherr	ROD03993-032DJ18-001-000 Rev. 02.1 [32]	dreireihiges Rollendrehverbindung Artikelcode 13827329	Ja	X
TMB	Y133.38.3993K Rev. 2 [34]	dreireihiges Rollendrehverbindung	Ja	X



## 6. Azimutantrieb

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Liebherr	13521946-99 Rev. 03.8 [36]	mehrstufiges Planetengetriebe DAT450/4422 Artikelcode 13521946	Nein	X
	13856204-99 Rev. 01.3 [37]	mehrstufiges Planetengetriebe DAT450/4422-V1 Artikelcode 13856204	Ja	X
Bonfiglioli	CD00024217 Rev. - [41]	mehrstufiges Planetengetriebe 711T Prod. Code JZ00006008	Nein	X

## 7. Azimutbremse (Azimut-Motor)

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Bonfiglioli	CD00019588 Rev. A [44]	AC-Motor	Ja	X

## 8. Kühlsystem

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Enercon	D02936467/0.1 Rev. 0.1 [47]	Flüssigkühlsystem und Luftkühlsystem	N/A	X



## 9. Schmiersystem

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Enercon	D02757557 Rev. 0.0 [133]	-	Ja	X
	D02757569 Rev. 0.0 [135]	-	Ja	X
	D02910699 Rev. 0.0 [137]	-	Ja	X
	D02910794 Rev. 0.1 [139]	-	Ja	X

## 10. Rotornabe

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Gusseisen	D02941150, Rev. 2.0 [48]	EN-GJS-400-18-LT	Ja	X

## 11. Rotorarretierung

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Arretierungsbolzen	D02781529, Rev. 0.0 [51]	34CrNiMo6	N/A*)	X

\*) Die Rotorarretierung wird nur bei normalen Umgebungstemperaturen angewendet. Daher nicht relevant für CCV.

## 12. Generatorrotor

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
Schweißkonstruktion	D02869487, Rev. 0.0 [52]	S355J2	Nein	X



### 13. Stator Grundrahmen

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante	
				E-175 EP5	
Schweißkonstruktion	D02814993, Rev. 0.0 [53]	S355J2 and S235JR	Nein	X	

### 14. Hauptlagereinheit

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante	
				E-175 EP5	
Rotorträger	D02872071, Rev. 1.0 [56]	EN-GJS-400-18-LT	Ja	X	
Achszapfen	D02799486, Rev. 1.1 [57]	EN-GJS-400-18-LT	Ja	X	
Achsdeckel	D02749044, Rev. 0.0 [58]	S355 J2+N	Nein	X	

### 15. Maschinenträger

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante	
				E-175 EP5	
Gusseisen	D02833308 Rev. 0.0 [60]	EN-GJS-400-18-LT	Ja	X	

### 16. Schraubverbindung

Verbindung	Anzahl Bolzen	Größe	Festigkeit	Anziehfaktor	Max. Vorspannkraft [kN]	Torsion berücks.	Nachw. Dok.	Gültig für Lasten		Anlagevariante
								Nachw.	Add.	
Rotornabe – Blattlager	143	M30	10.9	*)	*)	Nein	[61]	[81]	-	X
Pitchgetriebe – Rotornabe	24	M18	10.9	1.5	141	Ja	[9], [14]	[81]	-	X



Verbindung	Anzahl Bolzen	Größe	Festigkeit	Anziehfaktor	Max. Vorspannkraft [kN]	Torsion berücks.	Nachw. Dok.	Gültig für Lasten		Anlagevariante
								Nachw.	Add.	E-175 EP5
Azimutgetriebe – Maschinenträger	26	M24	10.9	*)	*)	Nein	[35], [40]	[81]	-	X
Azimutlager – Turmkopfflansch	150	M30	10.9	1.5	432	Ja	[64]	[81]	-	X
Azimutlager – Maschinenträger	178	M30	10.9	*)	*)	Nein	[64]	[81]	-	X
Achsdeckel – Achszapfen	108	M39	10.9	*)	*)	Nein	[151], [65]	[81]	-	X
Rotorträger – Generatorrotor	120	M30	10.9	1.6	437	Ja	[151], [65]	[81]	-	X
Rotornabe – Rotorträger	84	M39	10.9	1.2	800	Nein	[62]	[81]	-	X
Achszapfen – Stator Grundrahmen – Maschinenträger	126	M42	10.9	1.2	920	Nein	[63]	[81]	-	X
Maschinenhausverkleidung – Maschinenträger	40 12	M30 M24	10.9	gemäß /16/	-	-	[68]	[81], Windlasten, Verkehrs-lasten,	-	X

\*) über-elastisches Anziehen. Nachziehen nicht erforderlich.



## 18. Maschinenhausverkleidung

Bezeichnung	Zeichnungsnr./Rev.	Material/Typ	CCV	Anlagevariante
				E-175 EP5
E- Nacelle	D02927212, Rev. 1.0 [71]	Geschweißte und geschraubte Stahlkonstruktionen hauptsächlich aus S235JR, S355J2+N, S355J2H	Ja	X



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 15.11.2024

**Bericht Nr.:** 3821605-31-d-3 Rev. 1

**Objekt:** **Bewertung der Konstruktion – Rotorblatt**  
Enercon E-175 EP5-RB-01  
Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 E1

**Prüfgrundlage:** IECRE OD-501:2022 ed. 3.0  
DIN EN 61400-22:2011  
DIBt 2012

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

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3821605-31-d-3\_Rev-  
1\_Enercon\_E-175 EP5-  
RB-01\_design.docx

Seite 1 von 15

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

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

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

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

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
Energie und Systeme  
Windenergie  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	26.02.2024	Erstfassung.
1	15.11.2024	Aktualisierung für erhöhte Blattmasse: Dokument [92]und [93], [97], [98], [99], [101] bis [106] hinzugefügt. Dokument [75] entfernt. Dokumente [2],[4], [5], [7], [10], [12] bis [16], [18][20], [22] bis [26], [29] bis [31], [33], [38], [48], [49], [54], [70], [75], [78], [80], [91] und [95] aktualisiert. Kaltklima Bedingungen: Dokument [83], [84] und [86] hinzugefügt. Inhaltliche Anpassungen.

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

### Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen .....	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	7
2.	Bewertungsgrundlage .....	9
3.	Beschreibung .....	10
3.1.	Auslegungslasten.....	10
4.	Umfang der Bewertung .....	10
5.	Bemerkungen.....	11
5.1.	Kaltklima Bedingungen .....	13
5.2.	Änderung in der aktuellen Revision.....	13
6.	Gutachtliche Stellungnahme .....	13
	Auflagen.....	13
	Anhang: Charakteristische Eigenschaften des Rotorblattes Enercon E-175 EP5-RB-01 .....	15



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von ENERCON Global GmbH erstellt, wurden zur Prüfung vorgelegt:

#### **Design Basis**

- [1] "Technical report E-175 EP5-RB-01 Methods and Safety Factors for Structural Verification", Dokument Nr. D02912890, Rev. 1.0, vom 2023-10-17

#### **Struktur**

- [2] "Calculation E-175 EP5-RB-01 Verification of Rotor Blade", Dokument Nr. D02899343, Rev. 1.1, vom 2024-06-27
- [3] "Calculation E-175 EP5-RB-01 results of short wavelength buckling LC4", Dokument Nr. D02950045, Rev. 0.1, vom 2023-09-27
- [4] "rotor blade / general dimension / Rotorblatt / Maßblatt", Dokument Nr. D02904613, Rev. 1.0, vom 2024-03-11
- [5] "rotor blade / assembly E-175 EP5-RB-01 / Rotorblatt / Zusammenbau E-175 EP5-RB-01", Dokument Nr. D02909109, Rev. 1.0, vom 2024-05-13
- [6] "pressure side rotor blade shell / assembly shell PS", Dokument Nr. D02913597, Rev. 0.0, vom 2023-06-30
- [7] "pressure side rotor blade shell / outer laminate / RBL Schale Druckseite / Aussenlaminat", Dokument Nr. D02897138, Rev. 3.0, vom 2024-08-27
- [8] "PS and SS rotor blade shell / Preform 1 PS/SS", Dokument Nr. D02883187, Rev. 0.0, vom 2023-04-24
- [9] "pressure side rotor blade shell / inlay K SH-PS-TE Flatback E175EP5RB01", Dokument Nr. D02833605, Rev. 1.0, vom 2023-06-08
- [10] "pressure side rotor blade shell / preform 2 PS laid / RBL Schale Druckseite / Preform 2 DS gelegt", Dokument Nr. D02887362, Rev. 2.0, vom 2023-09-29
- [11] "pressure side rotor blade shell / reinforcement layers outer laminate", Dokument Nr. D02905200, Rev. 1.0, vom 2023-07-19
- [12] "pressure side rotor blade shell / spar boom / RBL Schale Druckseite / Holmgurt", Dokument Nr. D02901774, Rev. 3.0, vom 2024-03-11
- [13] "pressure side rotor blade shell / core material / RBL Schale Druckseite / Kernmaterial", Dokument Nr. D02909736, Rev. 2.0, vom 2024-05-08
- [14] "pressure side rotor blade shell / inner laminate / RBL Schale Druckseite / Innenlaminat", Dokument Nr. D02904945, Rev. 2.1, vom 2024-04-30
- [15] "pressure side rotor blade shell / reinforcement layers inner laminate / RBL Schale Druckseite / Verstärkungslagen Innenlaminat", Dokument Nr. D02903843, Rev. 2.0, vom 2024-03-11
- [16] "pressure side rotor blade shell / TE-UD PS / RBL Schale Druckseite / EK-UD DS", Dokument Nr. D02898667, Rev. 2.0, vom 2024-05-03
- [17] "suction side rotor blade shell / assembly shell SS", Dokument Nr. D02914026, Rev. 0.0, vom 2023-06-29



- [18] "suction side rotor blade shell / outer laminate / RBL Schale Saugseite Aussenlaminat",  
Dokument Nr. D02895283, Rev. 3.0, vom 2024-08-27
- [19] "suction side rotor blade shell / inlay K SH-SS-TE Flatback E175EP5RB01",  
Dokument Nr. D02865676, Rev. 1.0, vom 2023-06-08
- [20] "suction side rotor blade shell / preform 2 SS laid / RBL Schale Saugseite / Preform 2  
SgS gelegt",  
Dokument Nr. D02888102, Rev. 2.0, vom 2023-09-29
- [21] "suction side rotor blade shell / reinforcement layers outer laminate",  
Dokument Nr. D02900330, Rev. 1.0, vom 2023-07-19
- [22] "suction side rotor blade shell / spar boom / RBL Schale Saugseite / Holmgurt",  
Dokument Nr. D02903805, Rev. 3.0, vom 2024-03-11
- [23] "Suction side rotor blade shell / core material / RBL Schale Saugseite Kernmaterial",  
Dokument Nr. D02914583, Rev. 1.0, vom 2024-05-08
- [24] suction side rotor blade shell / inner laminate / RBL Schale Saugseite / Innenlaminat",  
Dokument Nr. D02900921, Rev. 2.1, vom 2024-04-30
- [25] "suction side rotor blade shell / TE-UD SS / RBL Schale Saugseite / EK-UD Sgs",  
Dokument Nr. D02900460, Rev. 2.0, vom 2024-05-03
- [26] "suction side rotor blade shell / reinforcement layers inner laminate / RBL Schale  
Saugseite / Verstärkungslagen Innenlaminat",  
Dokument Nr. D02904658, Rev. 2.0, vom 2024-03-11
- [27] "glue cap / leading edge",  
Dokument Nr. D02891583, Rev. 1.0, vom 2023-07-18
- [28] "rotor blade bonding / connection glue cap flange part / tip part",  
Dokument Nr. R01.140.10005, Rev. 1.0, vom 2021-07-23
- [29] "glue cap / trailing edge / Klebewinkel / Endkante",  
Dokument Nr. D02892061, Rev. 1.0, vom 2023-09-29
- [30] "rotor blade bonding / preform segment 1 GC TE/LE / RBL Verklebung / Preform Segment 1  
GC EK/VK",  
Dokument Nr. D02883958, Rev. 1.0, vom 2024-03-11
- [31] "rotor blade bonding / preform segment 3 GC TE/LE / RBL Verklebung Preform Segment 3  
GC EK/VK",  
Dokument Nr. D02891961, Rev. 1.0, vom 2023-09-27
- [32] "rotor blade / leading edge cover",  
Dokument Nr. D02894339, Rev. 0.0, vom 2023-05-03
- [33] rotor blade bonding / reinforcement laminate overlamination / RBL Verklebung  
Verstärkungslagen Überlaminierung",  
Dokument Nr. D02894809, Rev. 4.0, vom 2024-08-23
- [34] "rotor blade web / web assembly",  
Dokument Nr. D02898194, Rev. 0.0, dated 2023-06-19
- [35] "rotor blade web / LE web segment 1",  
Dokument Nr. D02891535, Rev. 0.1, vom 2023-06-12
- [36] "rotor blade web / LE web segment 2",  
Dokument Nr. D02894506, Rev. 1.0, vom 2023-07-19



- [37] "rotor blade web bypass reinforcement insert  $\varnothing 110$ ",  
Dokument Nr. D02895898, Rev. 0.0, vom 2023-06-12
- [38] "rotor blade web / TE web segment 1 / RBL Steg / EK Steg Segment 1",  
Dokument Nr. D02893711, Rev. 1.0, vom 2023-10-12
- [39] "rotor blade web / TE web segment 2",  
Dokument Nr. D02894781, Rev. 1.0, vom 2023-06-15
- [40] "rotor blade web / web bonding laminate",  
Dokument Nr. D02901699, Rev. 0.0, vom 2023-06-19
- [41] "rotor blade web bypass reinforcement insert 80x50mm"  
Dokument Nr. D02926543, Rev. 0, vom 2023-07-19

### **Blattwurzel**

- [42] "Calculation Report E-175 EP5-RB-01 Certification Report Blade Connection Ultimate and Fatigue Strength",  
Dokument Nr. D02915207, Rev. 0.2, vom 2022-07-08
- [43] "Calculation E-175 EP5-RB-01 Blade Connection Load Comparison WEC E-175 EP5 E1 Ultimate and Fatigue Strength",  
Dokument Nr. D03038486, Rev. 0, vom 2024-06-24
- [44] "Test report IEC 61400-5 Blade Root Validation Test",  
Dokument Nr. D02780084, Rev. 2.1, vom 2023-06-29
- [45] "Cross dowel  $\varnothing 95 \times 150$  M42+  $\varnothing 10 \text{mm}$ "  
Dokument Nr. D02782692, Rev. 0.2, vom 2023-02-22
- [46] "bolt expansion bolt DIN976 B M42-6g  $\varnothing 37 \times 584$  Bolzen Dehnbolzen DIN976 B M42-6g  $\varnothing 37 \times 584$ ",  
Dokument Nr. D02763762, revision 0.0, vom 2023-02-22

### **Spezifikationen**

- [47] "Materialspezifikation Materialkennwerte Rotorblattauslegung E-175 EP5-RB-01",  
Dokument Nr. D02815067, Rev. 2.1, vom 2023-08-11
- [48] "Technical specification E-175 EP5-RB-01 Rotor blade test specification AUR", ,  
Dokument Nr. D02901606, Rev. 6.0, vom 2024-09-06
- [49] "Technical specification E-175 EP5-RB-01 Rotor blade test specification CENER",  
Dokument Nr. D02901607, Rev. 7.0, vom 2024-09-06
- [50] "Technical description Evidence for ym3 bonding PSF according to IEC61400-5",  
Dokument Nr. D02895292, rev.0.2, vom 2023-07-04
- [51] "Technical report Core Failure Method Validation",  
Dokument Nr. D02888151, Rev. 0.0, vom 2023-04-12
- [52] "Technical specification Load Cases and Boundary Conditions for E-175 EP5-RB-01 Transport & Installation",  
Dokument Nr. D02912977, Rev. 0.2, vom 2023-02-27

### **Blatt Add-ons**

#### Serration

- [53] "Calculation E-175 EP5-RB-01 Verification of Trailing Edge Serration",  
Dokument Nr. D02883748, Rev. 0, vom 2023-07-13



- [54] "Trailing edge serration installation / Hinterkantenkamm Einbau",  
Dokument Nr. D02881944, Rev. 2.0, vom 2023-09-29
- [55] "Technical specification E-175 EP5-RB-01 TES Lay-Up For article nr. 1076266/x",  
Dokument Nr. D02881442, Rev. 0.2, vom 2023-06-01
- [56] "trailing edge serration / segment 1"  
Dokument Nr. D02876614, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [57] "trailing edge serration / segment 2"  
Dokument Nr. D02876615, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [58] "trailing edge serration / segment 3"  
Dokument Nr. D02876616, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [59] "trailing edge serration / segment 4"  
Dokument Nr. D02876618, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [60] "trailing edge serration / segment 5"  
Dokument Nr. D02876619, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [61] "trailing edge serration / segment 6"  
Dokument Nr. D02876621, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [62] "trailing edge serration / segment 7"  
Dokument Nr. D02876623, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [63] "trailing edge serration / segment 8"  
Dokument Nr. D02876624, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [64] "trailing edge serration / segment 9"  
Dokument Nr. D02876626, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [65] "trailing edge serration / segment 10"  
Dokument Nr. D02876627, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [66] "trailing edge serration / segment 11"  
Dokument Nr. D02876628, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [67] "trailing edge serration / segment 12"  
Dokument Nr. D02876630, Rev. 0.0, vom 2023-04-21
- [68] "trailing edge serration / segment 13"  
Dokument Nr. D02876632, Rev. 0.0, vom 2023-04-21

#### Vortex Generatoren

- [69] "Calculation E-175 EP5-RB-01 Verification of Vortex Generator",  
Dokument Nr. D02883850, Rev. 1, vom 2023-09-27
- [70] "vortex generator assembly suction side / Vortexgenerator Zusammenbau Saugseite",  
Dokument Nr. D02905803, Rev. 1.0, vom 2024-04-26
- [71] "vortex generator vortex generator 16b"  
Dokument Nr. R01.130.10027, Rev. 0, vom 2021-09-09

#### Blattspitze

- [72] "blade tip general dimension",  
Dokument Nr. D02638614, Rev. 0.1, vom 2023-03-17
- [73] "blade tip additional fixing",  
Dokument Nr. D02872272, Rev. 0.0, vom 2023-03-17



- [74] “cover for blade tip”,  
Dokument Nr. D02316781, Rev. 0.0, vom 20210-07-02

#### Plattform

- [75] “Reinforcing ring assembly / Ringspant Zusammenbau”,  
Dokument Nr. D02885267, Rev. 1.0, vom 2023-09-29
- [76] “reinforcing ring segment 1”,  
Dokument Nr. D02873460, Rev. 0.0, vom 2023-05-05
- [77] “reinforcing ring Segment 2”,  
Dokument Nr. D02881534, Rev. 0.0, vom 2023-05-05
- [78] “reinforcing ring glue cap / Ringspant Klebewinkel”,  
Dokument Nr. D02882094, Rev. 1.0, vom 2023-09-29
- [79] “cover manhole plate”,  
Dokument Nr. D02295305, Rev. 1.0, vom 2022-12-21

#### Blattanschlussabdeckung

- [80] “rotor blade blade skirt assembly installation / Rotorblatt Blattschürze Einbau”,  
Dokument Nr. D02914265, Rev. 1.0, vom 2023-11-06

#### Aeroelastic Model

- [81] File “powprod.\$PJ”,  
MD5 checksum: 606689D9815B04C6505C88D1757F3076
- [82] “E-175 EP5-RB-01 classification radius to profile”,  
Dokument Nr. D02888162, Rev. 0.1, ohne Datum

#### Kaltklima Bedingungen

- [83] “Calculation E-175 EP5-RB-01 Verification of Rotor Blade for Cold Climate Conditions for Bonding (static)”,  
Dokument Nr. D03065929, Rev. 2.0, vom 2024-09-06
- [84] “Technical description Evidence for CC properties”,  
Dokument Nr. D03035613, Rev. 0.1, vom 2024-08-05

### 1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente, sofern nicht anders angegeben von ENERCON Global GmbH erstellt, wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [85] “Design Base E-175 EP5 E1 / E-175 EP5 E2”,”,  
Dokument Nr. D02833990, Rev. 0.5, vom 2024-10-17
- [86] “Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen”,  
Dokument Nr. D0666243, Rev. 6.2, vom 2024-10-17
- [87] “Design Basis Evaluation Report Wind Turbine ENERCON E-175 EP5 Hub Heights 112 m, 132 m, 140 m, 162 m, 175 m Rotor Blade Type E-175 EP5-RB-01 for WT-class S”,  
erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3743008-1-e-0, Rev. 0, vom 2023-12-04
- [88] “ISO 9001:2015 Management System Zertifikat”,  
erstellt von DNV Business Assurance B.V.,  
Zertifikat Nr. C587792, Rev. 0, vom 2023-09-12



- [89] "Confirmation of Partial Safety Factors for Materials  $\gamma_m$  for Manufacturing Effects of Enercon Rotor Blades according IEC61400-5", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. ST-3743008-15-e, Rev. - , vom 2023-04-21
- [90] Statement "Confirmation of transport and assembly load cases and boundary conditions",  
erstellt von F. Rubner, ENERCON Global GmbH,  
Dokument Nr. D02968632, Rev. 0, vom 2023-12-05
- [91] "E-175 EP5-RB-01 rotor blade - list of submitted documents",  
Dokument Nr. D02915201, Rev. 11.0, 2024-09-09
- [92] lightning protection system LPS cable complete / Blitzschutzsystem BSS Kabel Komplett",  
Dokument Nr. D02941881, Rev. 0.1, vom 2024-05-13
- [93] lightning protection system E-175 overview bore holes and installation / Blitzschutzsystem  
E-175 Übersicht Bohrungen und Einbau",  
Dokument Nr. D02946865, Rev. 0.1, vom 2024-05-13

### **Aerodynamik**

- [94] "Design Evaluation – Rotor Blade here: Aerodynamic Characteristics",  
erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
dokument no 3821605-30-e-3, Rev. 0, vom 2023-12-14

### **Lasten**

- [95] "Design Evaluation – Load Assumptions Wind Turbine ENERCON E-175 EP5 Rotor Blade  
Type E-175 EP5-RB-01 112 m, 132 m, 140 m, 162 m and 175 m hub height above ground  
level WT class S and wind zone S here: machinery and rotor blade loads",  
erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,  
Dokument Nr. 3743008-9-e-1, Rev. 2, vom 2024-10-07
- [96] Datenträgerdatei: "D02833439\_2.1\_E-175 EP5;LL03 SC WCII TCA 8.5-2; Blade loads.zip"  
md5-checksum: D41D8CD98F00B204E9800998ECF8427E  
Die folgenden Dateien hieraus wurden für die Prüfung herangezogen:
- [97] "360\_LL3\_LL3SC\_env\_BLP SFF red\_SF.xlsx",  
xlsx-file md5 checksum: 292FF27E836C977EDF4D62C1BFA8CDA0
- [98] "360\_LL3\_LL3SC\_env\_NF.xlsx",  
xlsx-file, md5 checksum: 72C7CFA4DB2818E6D75CE92D1242EB60
- [99] "DEL\_Blade 1 Rotated BLPoT Loads\_env.xlsx",  
xlsx-file, md5 checksum: 3657213BAB45FE528878C04EACBD3E22 "
- [100] "20230816\_Nachtrage Paket 1 zu CCS Rev. 0.5 Nr.1.2\_Blade\_Markov360.zip",  
zip-file, md5-checksum: 7F14CC48799C7A9FFB0FC46F65A10898
- [101] Datenträgerdatei: "D03019491-0.1: E-175 EP5;LL6 WCII TCA 8.5-2; Blade loads.zip"  
md5-checksum: C6ACE23FD37ACF6D8BADA8F9815586C2  
Die folgenden Dateien wurden für die Prüfung herangezogen:
- [102] "env\_\_BLP SFF red\_SF.xlsx ",  
xlsx-file, md5-checksum: F09D712AA1E9EEFD145E99E49B36CC6C
- [103] "env\_BLPoT\_NF.xlsx",  
xlsx -file, md5-checksum: 238DCA2BAEDFCED515200CEDA84C806F
- [104] "DEL\_Blade 1 Loads\_Root axes\_env.xlsx",  
xlsx -file, md5-checksum: 21C10CAB3C6930F908B28093FB9C5506



“DEL\_Blade root 1\_env.xlsx”,  
xlsx -file, md5-checksum: E6DF570EA6EA0CF91B7864318832ECB5

[105] “DEL\_Blade root 1 Rotated Loads\_env.xlsx”,  
xlsx -file, md5-checksum: C558CAEBCEDE871270DC142541940FA2A

### **Blattwurzel**

[106] “blade connection assembly / Blattanschluss Zusammenbau”,  
Dokument Nr. D02882629, Rev. 0.0, vom 2023-05-04

### **Spezifikationen**

- [107] “Technical specification Permitted manufacturing tolerances and strength-related minimum values for rotor blades in general”,  
Dokument Nr. D0265789, Rev. 9.3, vom 2023-07-21
- [108] “Specifications document Permitted manufacturing tolerances and minimum strength values for the E-175 EP5-RB-01”,  
Dokument Nr. D02912607, Rev. 2.0, vom 2024-05-02
- [109] “Technische Information Werkszeugnis / EG-Konformitätserklärung DIN EN ISO/IEC 17050  
Produktbeschreibung: STABIFLEX Schachtabdeckung AB-950-PO-250kg- Typ 1 mit  
Griffmulden Belastungsklasse: Begehbar bis max. 250kg“  
erstellt von Reha-TEC GmbH,  
Dokument Nr. -, Rev. -, vom 2012-11-01  
EC-Dokument Nr. D02289507, Rev. 0.0, vom –
- [110] “Spezifikation MK 06 000 -5 Sicherheitsrelevante Verbindungselemente”,  
Dokument Nr. D0203293, Rev. 5, vom 2013-03-04

## **2. Bewertungsgrundlage**

Die Beurteilung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Normen und Richtlinien:

- /1/ IECRE OD-501:2022 ed. 3.0 „Type and Component Certification Scheme“
- /2/ IECRE OD-501-1:2017 “Conformity assessment and certification of Blade by RECB”
- /3/ DIN EN 61400-22:2011 „Windenergieanlagen – Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung“
- /4/ DIN EN IEC 61400-1:2019 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019“
- /5/ IEC 61400-5:2020 “Wind energy generation systems – Part 5: Wind turbine blades”
- /6/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015

Folgende Normen und Richtlinien wurden zusätzlich berücksichtigt:

- /7/ DIN EN 61400-23:2014 „Windenergieanlagen – Teil 23: Rotorblätter Experimentelle Strukturprüfung (IEC 61400-23:2014); Deutsche Fassung EN 61400-23:2014“
- /8/ „Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen 2010“, erstellt von Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH
- /9/ DE ISO 898-1:2013 “Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl - Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen - Regelgewinde und Feingewinde”



### **3. Beschreibung**

Das Rotorblatt Enercon E-175 EP5-RB-01 wird aus glasfaser- und kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff hergestellt. Es ist in Halbschalenbauweise gefertigt.

Die Blattwurzelverbindung ist mit T-Bolzen ausgeführt.

Die charakteristischen Daten des Rotorblattes sind im Anhang zu finden.

#### **3.1. Auslegungslasten**

In Tabelle 1 sind die betrachteten Windenergieanlagen-Varianten mit den zugehörigen Lastendokumenten und deren Gutachten aufgeführt.

<b>Variante</b>	<b>Last Dokument</b>	<b>Prüfbericht</b>
E-175 EP5 E1	[96], [101]	[95]

**Tabelle 1: Turbinen Varianten und zugehörige Lastdokumente.**

### **4. Umfang der Bewertung**

Die Bewertung umfasst die Nachweise des Rotorblattes wie im Folgenden aufgelistet:

- Beulen
- Faserbruch
- Zwischenfaserbruch
- Knittern
- Verklebungen
- Ermüdung
- Blattwurzellaminat
- Scherversagen des Kernmaterials

Die vorgelegte Dokumentation wurde auf Vollständigkeit und Richtigkeit geprüft sowie hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen der Prüfgrundlagen. Die Nachweise wurden auf Grundlage von Vergleichsrechnungen geprüft, soweit anwendbar.

Die folgenden Inhalte waren ebenfalls Teil der Prüfung:

- Übereinstimmung der Zeichnungen mit den Annahmen der entsprechenden Nachweise
- Die Ableitung der verwendeten Materialparameter aus den Materialtestberichten
- Die radiale Verteilung der strukturellen Eigenschaften (Massen, Biegesteifigkeiten)
- Die Spezifikation der Rotorblatttests
- Transport- und Montagelastfälle und Randbedingungen
- Blattquerbolzen
- Mannlochplatte und Deckel (Verstärkungsring)
- Aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblattes
- Blattbolzen
- Blatt Hinterkanten Serrations
- Vortex Generatoren
- Eignung für Kaltlimabedingungen



Folgende Inhalte waren nicht Gegenstand dieser Prüfung:

- Handbücher
- Blitzschutzsystem
- De-Icing System

## **5. Bemerkungen**

Das Rotorblatt wurde entsprechend den in der Konstruktionsbasis und Methodendokument für das Rotorblatt [1] angegebenen Methoden sowie der allgemeinen Konstruktionsbasis der Windenergieanlage [85] nachgewiesen, die vom TÜV SÜD in [87] geprüft wurde.

Für den Nachweis des Rotorblattes [2] wurden Extremlasten und Zeitreihen für Ermüdungslasten nach [101] verwendet. Die Lasten wurden vom TÜV SÜD in [95] geprüft. Für die Vergleichsrechnung wurden Markov-Matrizen verwendet, wie sie in der Datei [100] eingereicht wurden. Diese Markov-Matrizen wurden auf Übereinstimmung mit den Lastannahmen aus den Lastdokumenten [95] überprüft. Die Transportlastfälle gemäß [52] wurden, wie in [90] von ENERCON Global GmbH angegeben, berücksichtigt.

Die in der Materialspezifikation [47] gelisteten Materialeigenschaften sind durch Tests ausreichend nachgewiesen und wurden richtig aus den Materialtestberichten, die in [91] gelistet sind, übernommen.

Die aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblatts wurden hinsichtlich der Auftriebs-, Widerstands- und Momentenbeiwerten der entsprechenden Strömungsprofile geprüft und stimmen mit den aerodynamischen Eigenschaften überein, die im Simulationsmodell [81] für die aeroelastischen Lastberechnungen verwendet wurden. Die radialen Positionen der Strömungsprofile [82] wurden ebenfalls überprüft und stimmen mit dem Simulationsmodell [81] überein. Eine Übersicht über die Herleitung der aerodynamischen Kenndaten ist in [94] dokumentiert.

Das FE-Modell der Rotorblattstruktur wurde hinsichtlich Maßhaltigkeit, Materialeigenschaften und geeigneter Vernetzung bewertet. Die Übereinstimmung des FE-Modells mit den Zeichnungen zum Lagenaufbau wurde im Detail geprüft. Die Übereinstimmung der im FE-Modell definierten Materialeigenschaften mit der Materialspezifikation [47] wurde ebenso geprüft. Das FE-Modell stimmt hinreichend mit den Designannahmen überein.

Die verwendeten Sicherheitsfaktoren nach /5/ entsprechen den gängigen Industriestandards. Der Teilsicherheitsbeiwert für Fertigungseinflüsse ( $\gamma_{m3}$ ) von Klebeverbindungen wurde auf der Grundlage von durchgeführten Tests in Übereinstimmung mit /5/ festgelegt, wie vom TÜV SÜD in [89] bestätigt.

Die Berechnungen zu den Extremlasten (Faserbruch, Zwischenfaserbruch) wurden mit Methoden nach Puck entsprechend dem Stand der Technik durchgeführt. Für den Nachweis der lokalen Stabilität im Sandwichbereich wurde eine lineare Berechnung durchgeführt, während die globale Stabilität mit einer linearen FE-Beulberechnung nachgewiesen wurde. Das Kernversagen wurde teilweise mit dem globalen Schalenmodell und teilweise mit Volumensubmodellen nachgewiesen.

Die Schadensberechnung bei der Ermüdungsrechnung erfolgt mittels der Palmgren-Miner-Regel. Die zulässige Lastspielzahl wird für die Glasfasermaterialien über das Goodman-Diagramm und für die Kohlefasermaterialien über das abschnittsweise lineare Constant-Life-Diagramm ermittelt.

Für die Hinterkanten Serrations wurde ein detailliertes FE-Modell erstellt, das Ähnlichkeiten mit einem früheren Projekt belegt. Die Überprüfung erfolgt daher durch den Vergleich der Bruch- und Ermüdungsdehnungen des aktuellen Gesamtmodells mit den zulässigen Dehnungen aus den Testergebnissen des Vorgängerprojekts.



Für die Vortex-Generatoren wird der Klebeschub nachgewiesen, weil sie durch eine weiche Verbindung von der globalen Belastung entkoppelt sind.

Der Nachweis der Klebeverbindungen erfolgt durch eine analytische Berechnung der durchschnittlichen Scherspannung basierend auf getesteten Materialeigenschaften.

Die Blattwurzelverbindung wurde als Querbolzenanschluss ausgeführt. Die relevante Spannung im Querbolzen wird analytisch aus der axialen Schraubenkraft hergeleitet. Für den Faserbruchnachweis der Blattwurzelverbindung wird die resultierende Elementmittelspannung aus einem Volumen-FE-Modell mit zulässigen Werten aus den Testergebnissen in [44] verglichen. Der Zwischenfaserbruchnachweis des Laminats an der Blattwurzelverbindung soll anhand der Ergebnisse für den statischen Rotorblatttest erfolgen (siehe Auflage 1).

Gemäß der Spezifikation [110] erfüllt die Schraubverbindung an der Blattwurzel die Anforderungen der Norm der ISO 898-1 /9/, und der Charpy-Kerbschlagbiegeversuch für feuerverzinkte Bolzen wird bei -40 °C durchgeführt. Daher ist die Schraubverbindung für den Einsatz in Kalt-Klima geeignet.

Anzahl Bolzen	Größe	Festigkeit	Angen. Anziehungsfaktor nach VDI	Max. Vorsp. kraft [kN]	Torsion berücks.	Nachweis	Bestätigte Lasten	Zusätzl. Lasten
71	M42	10.9	1.2	860	nein	[42]	[96], [99]	[101]

**Tabelle 1: Schraubverbindung Rotorblatt - Rotorblattlager**

Die mechanischen Eigenschaften des Rotorblattes (Verlauf der Biegesteifigkeit, Massenverteilung und Eigenfrequenzen) die in der Lastsimulation verwendet wurden nach [95] stimmen mit dem für die Prüfung verwendeten FE-Modell überein.

Die Spezifikation zum Rotorblatttest wurde hinsichtlich der abgeleiteten Testlasten und des allgemeinen Testprozedur bewertet. Die Testspezifikation erfüllt die Anforderungen der Norm IEC 61400-23 /7/.

Die Blattabschlussplattform (Verstärkungsring) wurde für eine Flächenlast von 3 kN/m<sup>2</sup> bzw. für eine Einzellast von 1,5 kN nachgewiesen.

Die Luken der Plattform, wie in [91] gelistet, sind Zukaufteile mit einer Konformitätsbescheinigung nach DIN EN ISO/IEC 17050 und wurden wie in [109] beschrieben, hinsichtlich der Anforderungen der EN124 bzw. ISO15398 für eine maximale Belastung von 250kg nachgewiesen.

Die in den eingereichten Nachweisen ausgewiesenen Restsicherheiten können innerhalb üblicher technischer Abweichungen bestätigt werden.

Soweit nicht anders angegeben, wurden die eingereichten Nachweise durch unabhängige Vergleichsrechnung geprüft.

Die Anforderungen an die Herstellung des Rotorblattes sind geeignet, um die im Rahmen der Nachweise angenommene Qualität zu erreichen.

Die Anforderungen an die Qualität des Entwurfsprozesses wurden durch das ISO 9001-Zertifikat [88] nachgewiesen.

Die für das De-Icing-System benötigten Steglöcher waren Teil des Designs, wie in [2] nachgewiesen.



## **5.1. Kaltklima Bedingungen**

Die mechanischen Eigenschaften des verwendeten Harzsystems und des strukturellen Klebstoffs wurden getestet und in [84] dargestellt. Die zugrundeliegenden Prüfberichte sind in der letzten Revision von [91] zu finden. Die Änderung der mechanischen Eigenschaften des Harzsystems ist durch den verwendeten Teilsicherheitsbeiwert für Kälteeinflüsse abgedeckt. Die Änderung der Kennwerte für den Klebstoff wurde in [83] für die statischen Extremlasten nachgewiesen.

## **5.2. Änderung in der aktuellen Revision**

Es wurde ein neues Lastset [101] hinzugefügt, das in [95] geprüft wurde. Für dieses Lastset wurde der Nachweis der Blattstruktur [2] aktualisiert, der ebenfalls die Konstruktionsänderungen gemäß den aktualisierten Zeichnungen berücksichtigt. Die in [2] angegebene Restsicherheiten können gegenüber dem Lastset [101] bestätigt werden.

Die Blattwurzelverbindung wurde durch einen Lastvergleich [43] für das neue Lastset [101] nachgewiesen. Daher bleiben die in [42] ausgewiesene Restsicherheit bestehen, die sich allerdings auf das Lastset [96] und dessen Zusatzdaten [100] beziehen.

Die aktualisierten Testspezifikationen [48] und [49] wurden geprüft.

Der Nachweis für Kaltklimabedingungen wurde bewertet.

## **6. Gutachtliche Stellungnahme**

Die zur Prüfung vorgelegten Dokumente für das Rotorblatt Enercon E-175 EP5-RB-01 des Herstellers ENERCON Global GmbH entsprechen den Anforderungen der Normen DIN EN 61400-22 /3/ und IECRE OD-501 /1/ in Verbindung mit DIN EN 61400-1:2011 /4/. Die Unterlagen sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Es bestehen keine Einwände gegen den Einsatz des Rotorblattes Enercon E-175 EP5-RB-01 des Herstellers ENERCON Global GmbH mit Lastbedingungen entsprechend [2].

Die nachfolgenden Auflagen sind zu beachten.

### **Auflagen**

1. Der Rotorblatttests soll einen ausreichenden Nachweis bezüglich Zwischenfaserbruch am Blattflansch erbringen, so dass die volle Lebensdauer gewährleistet ist.
2. Die Oberfläche des Rotorblattes ist regelmäßig durch qualifiziertes Personal zu inspizieren, mindestens jedoch einmal jährlich. Relevante Schäden sind zeitnah professionell zu reparieren. Die Wartungsanweisung des Herstellers ist einzuhalten.
3. Durch das Qualitätssystem ist zu gewährleisten, dass die gefertigten Rotorblätter hinsichtlich Maße und charakteristischen Daten den gegebenen Daten in den Konstruktionszeichnungen und Berechnungen entsprechen (Faserlagen, Anzahl der Lagen, Faserrichtung, Faser und Matrix Anteil, usw.). Vor der Endmontage der Rotorblätter ist eine detaillierte visuelle Inspektion durchzuführen, um zu vermeiden, dass durch den Transport beschädigte Rotorblätter montiert werden.
4. Die jeweils gültigen nationalen Bestimmungen bezüglich Inspektionen des Rotorblattes durch Dritte sind einzuhalten.



**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
**Abteilung Windenergieanlagen**

Der Leiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'M. Schmalstieg'. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'M'.

M. Schmalstieg

Der Sachverständige

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'M. Lipcan'. The signature is cursive and somewhat stylized.

M. Lipcan



### **Anhang: Charakteristische Eigenschaften des Rotorblattes Enercon E-175 EP5-RB-01**

<b>Eigenschaft</b>	<b>Wert</b>
Blattlänge	85990 mm
Blattgewicht	27265 kg inclusive der Blattbolzen
Schwerpunkt	24.97m von der Blattwurzel
Statisches Moment	6680 kNm von der Blattwurzel
1. Eigenfrequenz Schlagrichtung	0.456 Hz
1. Eigenfrequenz Schwenkrichtung	0.699 Hz
Material	Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK) Sandwichstruktur mit Kohlefaserverstärkter Kunststoff (CFK) Gurten
Blattwurzelverbindung	71 T-Bolts auf Ø 3200 mm für M42 Schrauben
Lastenspezifikation	Document D03019491, rev. 0.1 [101]
Materialsicherheit für Turmfreigang	1.10
Normaltemperatur	-20°C bis +40°C
Extremtemperatur	-50°C bis +40°C
Aerodynamische Anbauteile	Vortexgenerator und Hinterkanten Serrations
Optionale Ausstattung	De-Icing-System



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 26.06.2024

**Bericht Nr.:** 3821605-92-d-3 rev. 1

**Objekt:** **Typprüfung - Rotorblatt**  
Enercon E-175 EP5-RB-01  
für die Windenergieanlage Enercon E-175 EP5

**Hier: Initiale Statische Tests**

**Grundlage der  
Evaluierung:** DIN EN 61400-22:2011

**Auftraggeber:** Enercon Global GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Germany

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3821605-92-d-3\_Rev-  
1\_Enercon\_RB\_E-175-  
EP5-RB-01\_Full-scale-  
tests\_initial-static.docx

Seite 1 von 5

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

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

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

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

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
Energie und Systeme  
Windenergie  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	17.06.2024	Erstfassung
1	26.6.2024	Auflage entfernt

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente.....	3
1.1	Evaluierte Dokumente.....	3
1.2	Eingesehene Dokumente.....	3
2	Grundlagen der Evaluierung.....	4
2.1	Angewendete Standards.....	4
2.2	Zusätzliche Standards.....	4
3	Beschreibung.....	4
4	Umfang der Evaluierung.....	4
5	Bemerkungen.....	4
6	Gutachtliche Stellungnahme.....	5



## 1 Dokumente

### 1.1 **Evaluierte Dokumente**

Folgende Dokumente wurden zur Evaluierung vorgelegt:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[1]	Measurement report E-175 EP5-RB-01 Initial static rotor blade test evaluation CENER	Enercon	D03010152/0.2	2024-04-11
[2]	Measurement report E-175 EP5-RB-01 Initial static rotor blade test evaluation AUR	Enercon	D03006292/0.1	2024-04-10
[3]	STATIC TEST REPORT According to IEC 61400-23:2014 E-175 EP5-RB-01 Blade	CENER	21.4227.0-1 EE (Enercon: D03020196-0.0)	2024-04-25
[4]	Technical specification E-175 EP5-RB-01 Rotor blade test specification CENER	Enercon	D02901607/3.4	2024-04-05
[5]	Technical specification E-175 EP5-RB-01 Rotor blade test specification AUR	Enercon	D02901606/4.0	2024-04-09

### 1.2 **Eingesehene Dokumente**

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Evaluierung zusätzlich herangezogen:

[6]	Design Base E-175 EP5 Rev. 0.2	Enercon	D02833990, rev. 0.2	2023-11-10
[7]	Design Basis Evaluation Report Wind Turbine ENERCON E-175 EP5 Hub Heights 112 m, 132 m, 140 m, 162 m, 175 m Rotor Blade Type E-175 EP5-RB-01 for WT-class S	TÜV SÜD	3743008-1-e-0 rev. 0	2023-12-04
[8]	„D02833439_2.1_E-175 EP5;LL03 SC WCII TCA 8.5-2; Blade loads.zip“ MD5-checksum: 0DF11BBFAE398E1C40A09E1FFBED7096	Enercon	D02833439 rev. 2.1	2023-06-12
[9]	Design Evaluation – Load Assumptions Wind Turbine ENERCON E-175 EP5 Rotor Blade Type E-175 EP5-RB-01 112 m, 132 m, 140 m, 162 m and 175 m hub height above ground level WT class S and wind zone S here: machinery and rotor blade loads	TÜV SÜD	3743008-9-e-1 rev. 1	2023-12-12
[10]	Technical specification Permitted manufacturing tolerances and strength-related minimum values for rotor blades in general	Enercon	D0265789/8.1	2022-07-22
[11]	Calculation E-175 EP5-RB-01 Verification of Rotor Blade	Enercon	D02899343/0.3	2023-08-04
[12]	Design Evaluation – Rotor Blade Enercon E-175 EP5-RB-01 for Wind Turbine Enercon E-175 EP5	TÜV SÜD	3821605-31-e-3 rev. 0	2024-01-25
[13]	Indicação de dano (notification of damage) for Serial no. EVC0002	Enercon	ID:0095	2024-03-01
[14]	Non-conformity – Corrective action	CENER	04-09-01-01-R00	-
[15]	Collection of calibration documentation MD5-checksum: 52f496bd31aee1e0e5d0b475afc1013b	Enercon	D03014314-0.2	-



## **2 Grundlagen der Evaluierung**

### **2.1 Angewendete Standards**

Die Evaluierung der Dokumente erfolgte gemäß folgender Normen und Richtlinien:

<b>Ref.</b>	<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>
/1/	DIN EN 61400-22:2011	Windenergieanlagen - Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung
/2/	DIN EN IEC 61400-5:2020	Windenergieanlagen - Teil 5: Rotorblätter von Windenergieanlagen
/3/	DIN EN 61400-23:2011	Windenergieanlagen - Teil 23: Rotorblätter – Experimentelle Strukturprüfung
/4/	DIN EN IEC 61400-24:2020	Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz

### **2.2 Zusätzliche Standards**

Zur Evaluierung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

<b>Ref.</b>	<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>
/5/	DNV-ST-0376:2021	Rotor blades for wind turbines

## **3 Beschreibung**

Das Rotorblatt vom Typ Enercon E-175 EP5-RB-01 wird aus glasfaserverstärktem Kunststoff mit Gurten aus kohlefaserverstärktem Kunststoff hergestellt. Er besteht aus zwei Schalen und zwei Stegen, die nach getrennter Infusion miteinander verklebt werden. Die Blattwurzel ist mit Querbolzen konstruiert. Die Tests folgen der Spezifikation in der Konstruktionsgrundlage [6].

Die charakteristischen Daten des Rotorblattes sind im Anhang von Bericht [12] angegeben.

## **4 Umfang der Evaluierung**

Geprüft wurde die Anwendbarkeit der statischen Tests der experimentellen Strukturprüfung, die am Rotorblatttyp E-175 EP5-RB-01 bei den akkreditierten Testinstituten CENER und Enercon erfolgt sind.

Die zugehörigen Testspezifikationen [4] und [5] wurden auf Richtigkeit und Vollständigkeit geprüft. Die Testberichte [1] bis [3] von Enercon und CENER wurden auf Vollständigkeit und Anwendbarkeit geprüft. Die Fertigungsdokumentation der Testblätter wurde auf Übereinstimmung mit der bewerteten Konstruktion geprüft.

## **5 Bemerkungen**

Die statischen Rotorblatttests der experimentellen Strukturprüfung des Typs Enercon E-175 EP5-RB-01 wurden an zwei akkreditierten Testinstituten durchgeführt:

- Enercon, akkreditiert als RECTF, Blattseriennummer EVC0001
- CENER, akkreditiert als RETL, Blattseriennummer EVC0002

Für die Tests wurde eine gesonderte Testspezifikationen für jedes Testinstitut erstellt, die im Rahmen der Bewertung der Konstruktion des Rotorblattes [12] geprüft wurden. Die aktuellen



Revisionen ([4] und [5]) wurden für die Tests zugrunde gelegt. Die Unterschiede zwischen den im Rahmen der Konstruktionsbewertung berücksichtigten Revisionen und den verwendeten Revisionen wurden vom TÜV SÜD geprüft und sind in Übereinstimmung mit der Norm IEC 61400-23 /3/

Die abgeleiteten Ziel-Testlasten wurden auf Basis der Lasten in [8] ermittelt.

Die durchgeführten Tests beinhalten die initialen statischen für die Richtungen  $Flap_{max}$ ,  $Flap_{min}$ ,  $Edge_{max}$  und  $Edge_{min}$ .

Die Dokumentation der Tests ist ausreichend und erfüllt die Anforderungen der Norm IEC 61400-23 /3/. Die Messergebnisse wurden in den Berichten [1] bis [3] angegeben. Danach wurden die Lasten erfolgreich aufgebracht, wobei oberflächliche Schäden ohne Relevanz für die Standsicherheit beobachtet wurden.

Die gemessenen Werte wurden vom Hersteller in den Berichten [1] und [2] mit den vorhergesagten Werten im Hinblick auf die Anforderungen in IEC 61400-5 /2/ verglichen. Die gemessenen Eigenfrequenzen stimmen ausreichend mit den nominellen Werten überein. Die während der statischen Tests gemessenen Durchbiegungen und Dehnungen stimmen ausreichend mit den vorhergesagten Werten überein.

Die Tests wurden bei Umgebungstemperaturen von etwa 10°C (CENER) und 20°C (Enercon) durchgeführt.

Der ohmsche Widerstand des Blitzschutzsystems wurde vor und nach den Tests gemessen, wobei keine ungewöhnlichen Änderungen festgestellt wurden.

Die Fertigungsdokumentation der Testblätter wurde dem TÜV SÜD vor Ort zugänglich gemacht. Das Testblatt wurde im Wesentlichen in Übereinstimmung mit den im Prüfbericht zur Bewertung der Konstruktion genannten Dokumenten hergestellt. Festgestellte Abweichungen sind im Hinblick auf die Rotorblatttests irrelevant.

## 6 Gutachtliche Stellungnahme

Die zur Evaluierung der Typprüfung, hier der initialen statischen Rotorblatttests, vorgelegten Dokumente für das Rotorblatt Enercon E-175 EP5-RB-01 entsprechen den Anforderungen der in Kapitel 2.1 angegebenen Zertifizierungsschemas und Standards sowie der Konstruktionsbasis [6].

### **TÜV SÜD Industrie Service GmbH Abteilung Windenergieanlagen**

Bewertung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K. Thomas', written over a vertical line.

K. Thomas

Evaluierung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Schmalstieg', written over a vertical line.

M. Schmalstieg



**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

## **Gutachtliche Stellungnahme**

Datum: 27.03.2024

**Bericht Nr.:** 3821605-21-d-2 Rev. 0

**Objekt:** **Evaluierung der Konstruktion – Handbücher,  
Personensicherheit und Betriebsführungs- und  
Sicherheitssystem (CAPS)**  
Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5

**Prüfgrundlage:** IECRE OD-501:2022,  
DIN EN 61400-22:2011 und  
DIBt 2012

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

Unsere Zeichen:  
IS-ESW-MUC

Dokument:  
3821605-21-d-2\_Rev-  
0\_ENERCON\_E-  
175\_EP5\_HAPSCAPS.docx

Seite 1 von 17

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

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

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

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

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
Energie und Systeme  
Windenergie  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland

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

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	27.03.2024	Erstfassung

## Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente.....	3
1.1	Evaluierte Dokumente.....	3
1.2	Eingesehene Dokumente.....	4
2	Grundlage der Evaluierung.....	8
2.1	Angewendete Standards.....	8
2.2	Zusätzliche Standards.....	8
3	Beschreibung.....	9
4	Umfang der Bewertung.....	9
4.1	Handbücher.....	9
4.2	Personensicherheit.....	9
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS).....	10
5	Bemerkungen.....	10
5.1	Handbücher.....	10
5.2	Personensicherheit.....	10
5.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS).....	12
6	Gutachtliche Stellungnahme.....	13
	Auflagen.....	13
	Handbücher:.....	13
	Personensicherheit:.....	14
	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS):.....	14
	Anhang 1: Evaluierte Windenergieanlagen.....	15
	Anhang 2: Komponenten Personensicherheit.....	16
	Anhang 3: CAPS – Evaluierte Komponenten.....	17



## 1 Dokumente

### 1.1 **Evaluierte Dokumente**

Folgende Dokumente wurden zur Evaluierung vorgelegt:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
<b>1.1.1 Handbücher</b>				
<b>1.1.1.1 Errichtung</b>				
[1]	Montageanleitung Generelle Montage Stahlrohrturm (ST) und Stahlsektionen (HT)	ENERCON	D02910147/0.2-de	2023-10-11
[2]	Montageanleitung Generelle Montage Hybrid-Stahlurm (HST)	ENERCON	D02892786/1.0-de	2024-02-09
[3]	Bolting Specification HST	ENERCON	D02277340/7.1	2023-12-06
[4]	Montagehinweise zu Stahl und MST Sektionen	ENERCON	D03002652/0.0-de	2024-02-09
[5]	Errichtungsanleitung E-175 EP5-HT-162-ES-C-01	Max Bögl	WEA ErrAnl, Rev. 02 (ENERCON: D02784505_2.0)	2024-02-05
[6]	Montageanleitung Stahlsektionen Hybridturm E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 (E23)	ENERCON	D02902364/1.0-de	2024-01-31
[7]	Montageanleitung Vormontage und Montage Gondel, Windenergieanlage E-175 EP5	ENERCON	D02875915/0.0-de	2023-06-30
<b>1.1.1.2 Inbetriebnahme</b>				
[8]	Inbetriebnahmeanleitung ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5	ENERCON	D02881335/1.1-de	2024-01-24
[9]	Inbetriebnahme (IB) E-160 EP5 E3	ENERCON	D02583645, Rev. 1.0	-
<b>1.1.1.3 Betrieb</b>				
[10]	Betriebsanleitung E-175 EP5	ENERCON	D02896061/3.1-de	2024-02-16
<b>1.1.1.4 Wartung</b>				
[11]	Wartungsanleitung Hauptwartung, Windenergieanlage E-175 EP5	ENERCON	D02881336/4.0-de	2024-03-18
[12]	Inbetriebnahmeanleitung 300 h-Wartung, Windenergieanlage E-175 EP5	ENERCON	D02881337/3.0-de	2024-03-18
<b>1.1.1.5 Transport</b>				
[13]	Verladehandbuch EP5	ENERCON	D02109115/6.1	2023-12-18
[14]	Verladehandbuch Betontürme (HT)	ENERCON	D02554044/0.0	2022-03-28
[15]	Verladehandbuch Stahltürme	ENERCON	D02109110_2.1	2024-01-23
<b>1.1.2 Personensicherheit</b>				
[16]	Technische Beschreibung Flucht- und Rettungswege	ENERCON	D02686561/1.1-de	2023-06-15



[17]	Technische Beschreibung Brandschutz EP5	ENERCON	D0736681/8.0-de	2023-06-23
------	---	---------	-----------------	------------

### 1.1.3 Sicherheitssystem (CAPS)

[18]	Datei "D02816418_2.0-de_System-FMEA für E-175 EP5 und E-160 EP5 E3 R1 (FMEA).xlsx" MD5 Prüfsumme: ca752a4a7435f34a5e6053fd80c9b9d8	ENERCON	N/A	N/A
[19]	System – FMEA Gesamtsystem WEA	ENERCON	D02872426 Rev. 1.0	2023-05-12
[20]	Anforderungsspezifikation RS0000011-SafetyRS EP-SCS-03	ENERCON	D02254818 Rev. 6.21	2023-10-17
[21]	Safety Requirement & Hardware Design Specification V6.20	ENERCON	D02314948 Rev. 4.1-de	2023-09-25
[22]	SISTEMA - Sicherheit von Steuerungen an Maschinen Projektname: ENERCON Safety Control System EP-SCS-03 EP5	ENERCON	D02933611 Rev. 0.2	2023-11-20
[23]	Prozessbeschreibung Control System Entwicklungsprozess v1.0	ENERCON	D0469841 Rev. 0	2016-05-26
[24]	Prototype test plan ENERCON WEA with PICS	ENERCON	D02561833 Rev. 1.0	2022-11-16
[25]	Technische Beschreibung Fehlermodes Control System E-175 EP5 ENERCON Windenergieanlage	ENERCON	D02938068, Rev. 0.0-de	2023-11-22

## 1.2 Eingesehene Dokumente

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Evaluierung zusätzlich herangezogen:

### 1.2.1 Handbücher

#### 1.2.1.1 Errichtung

[26]	Installation report, Hybrid steel tower pre-assembly report, E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	ENERCON	TD-seko-03-de-en-23-006, Rev. 0	2023-02-06
[27]	Installation report, Installation of hybrid steel tower	ENERCON	TD-seko-03-de-en-21-043, Rev. 002a	2023-03-07
[28]	Montageprotokoll, Stahlurm und Stahlsektion auf FBT	ENERCON	D02891168/1.0-de	2023-12-07
[29]	Installation report, E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01	ENERCON	TD-gccs-03-de-en-22-011, Rev. 001	2022-07-05
[30]	Installation instructions, General information and activities, WEC installation and replacement of major components	ENERCON	TD-gccs-08-de-en-12-003, Rev. 10	2022-11-01
[31]	Work instructions, General information on tightening tools	ENERCON	TD-seko-08-de-en-14-014, Rev. 007a	2023-02-03
[32]	Montageprotokoll, Maschinenhaus, E 175 EP5	ENERCON	D02985923/0.0-de	2024-02-02
[33]	Montageprotokoll, Rotorkopf, E 175 EP5	ENERCON	D02986297/0.0-de	2024-02-01
[34]	Montageprotokoll, Generator, E 175 EP5	ENERCON	D02986098/0.0-de	2024-02-02
[35]	Montageprotokoll, Rotorblätter, E 175 EP5	ENERCON	D02986394/0.0-de	2024-02-02



### 1.2.1.2 *Wartung*

[36]	Hauptwartung (H), Kundenprotokoll (E-160 EP5 E3)	ENERCON	D02317042 Rev. 2.0	-
[37]	300h-Wartung, Kundenprotokoll (E-160 EP5 E3)	ENERCON	TD-gccs-08-de-de-22-012 Rev. 000	-
[38]	Sicht-/Fettwartung (SF), Kundenprotokoll (E-160 EP5 E3)	ENERCON	TD-gccs-08-de-de-22-027 Rev. 000	-

### 1.2.1.3 *Transport*

[39]	Zuwegung und Baustellenflächen, E-175 EP5 132 m Hybrid-Stahlurm, Prototyp	ENERCON	D02784780/2.0-de	2023-09-07
[40]	Zuwegung und Baustellenflächen, E-175 EP5 140 m Hybrid-Stahlurm, Prototyp	ENERCON	D02748538/1.1-de	2023-05-31
[41]	Zuwegung und Baustellenflächen, E-175 EP5 162 m Hybridurm, Prototyp	ENERCON	D02776932/4.0-de	2023-09-07
[42]	Spezifikation Zuwegung und Lichtraumprofil Hybridurm 2.0	Max Bögl	A_862 Rev. 3	2024-02-06

## 1.2.2 **Personensicherheit**

[43]	Technische Beschreibung Anschlagpunkte zur Personensicherung E-160 EP5 E3 R1, E-175 EP5	ENERCON	D02816248/2.0-de	2024-01-31
[44]	Technische Beschreibung Innenbeleuchtung	ENERCON	D0323524/8.0-de	2023-05-03
[45]	Konformitätserklärung Sicherheitssteigleitern und Zubehör: Tr280, Tr273,3 und Tr280-3	SCS	SCS-003	2024-02-14
[46]	Zertifikat Hailo Wind Systems, ortsfeste Steigleiter 60x20	DEKRA	5017033.23002	2023-12-14 Gültigkeit: 2028-12-14
[47]	DGUV Test Zertifikat Steigleitern mit Mittelholm aus Stahl: LMB-Tr 280 CC, LMB-Tr 273,3 CC	DGUV	HL 18010	2018-08-06 Gültigkeit: 2023-08-05
[48]	Baumusterprüfbescheinigung: Steigleiter mit Seitenholmen LMB-TR280-3 CC	DEKRA	ZP/C029/20 R1	2021-02-12 Gültigkeit: 2026-01-20
[49]	EU-Baumusterprüfbescheinigung: Bornack RS-S06 / RS-S	DEKRA	ZP/B112/19	2019-09-02 Gültigkeit: 2024-09-01
[50]	EU-Baumusterprüfbescheinigung: MKL-Technik Twinstop	DEKRA	ZP/B161/19 R1	2019-08-09 Gültigkeit: 2024-07-22
[51]	EU-Baumusterprüfbescheinigung: SHE Solution Bergmann Climbtect CT02	DEKRA	ZP/B139/21	2021-11-15 Gültigkeit: 2026-11-14
[52]	EG-Baumusterprüfbescheinigung: Hailo TOPlift L1+/L2+/L3+	DEKRA	4817033.22001	2022-02-03 Gültigkeit: 2027-02-03



[53]	EG-Baumusterprüfung: Goracon Befahranlage GWB-300-L	TÜV Rheinland	01/205/0949A/24	2024-02-07 Gültigkeit: 2029-02-06
[54]	DGUV Test - Zertifikat: PSA-VRS M16	DGUV	23060015	2023-04-03 Gültigkeit: 2028-04-02
[55]	DGUV Test - Zertifikat: PSA-VRS M20	DGUV	23060016	2023-04-12 Gültigkeit: 2028-04-11
[56]	DGUV Test - Zertifikat: PSA INOX STAR M16	DGUV	22060044	2022-12-20 Gültigkeit: 2027-12-19
[57]	DGUV Test - Zertifikat: PSA INOX STAR M20	DGUV	23060008	2023-01-18 Gültigkeit: 2028-01-17
[58]	Gutachtliche Stellungnahme - Ankerpunkte für Windenergieanlagen ENERCON	TÜV NORD	8118795781-8 D Rev. 2	2022-08-26
[59]	Baumusterprüfbescheinigung: Anschlageinrichtung Typ A, Haltegriff SAP 720997	DEKRA	ZP/B041/19	2019-03-08 Gültigkeit: 2024-03-07
[60]	Prüfbericht Podeste und Einbauten – Handgriffe	TÜV SÜD	3085095-21-d Rev. 2	2020-10-19
[61]	Baumusterprüfbescheinigung: Anschlageinrichtung Typ A, Haltegriff SAP 687539	DEKRA	ZP/B040/19	2019-03-08 Gültigkeit: 2024-03-07
[62]	Bestätigungsschreiben für Anschlageinrichtungen Typ A, Haltegriffe SAP 687539 (ZP/B040/19) und 720997 (ZP/B041/19)	ENERCON	-	2024-03-25
[63]	Datenblatt wieland PODIS LED Lamp RST 120VDC 5W STD	Wieland	-	2021-05-03
[64]	Datenblatt wieland PODIS LED Lamp RST 60VDC 20W LCR	Wieland	-	2023-07-27

### 1.2.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS)

[65]	Datei "D02713926_2.3-en_FMEA Teil-System Automatic positioning rotor locking.xlsx", MD5 Prüfsumme: fb6f64259bebd15a9d73309b3c5eaa0f	ENERCON	N/A	N/A
[66]	Datei "D02832940_1.3-de_ - Teil-System - Pitchsystem (KEBA) E-175 EP5 und E-160 EP5 E3 R1 (FMEA).xlsx", MD5 Prüfsumme: 81bf48a1b71c439b03a281ebbb68a2	ENERCON	N/A	N/A
[67]	Datei "D02832940_1.3-de_ - Teil-System - Pitchsystem (KEBA) E-175 EP5 und E-160 EP5 E3 R1 (FMEA).xlsx", MD5 Prüfsumme: 81bf48a1b71c439b03a281ebbb68a2	ENERCON	N/A	N/A



[68]	Datei "D02832941_0.1-de_FMEA Teil-System - IPMSM Pitchmotor E-175 EP5.xlsx" MD5 Prüfsumme: 56a2832d3c2611d1dfd3e1533a40de	ENERCON	N/A	N/A
[69]	Datei "D02832942_0.0-de_FMEA Teil-System_Yaw-System-E-175 EP5 E-160 EP5 E3 R1.xlsx" MD5 Prüfsumme: 59c729db93843aaa85ec221bc14f4b	ENERCON	N/A	N/A
[70]	Datei "D02832944_0.0-de_FMEA Teil-System - Transformatorsicherheitskreis E-175 EP5 und E-160 EP5 E3 R1.xlsx" MD5 Prüfsumme: c4a4dbea0d66bbea8a7e4870177cae	ENERCON	N/A	N/A
[71]	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse Fehlerstromüberwachung (SF219) für das Projekt EP-SCS-03	ENERCON	D02338153 Rev. 1.3	2023-06-27
[72]	Reglerbeschreibung E-175 EP5, E-175 EP5 E2	ENERCON	D02784270 Rev. 3.1	2023-03-24
[73]	Safety-Parameter ENERCON E-175 EP5	ENERCON	D02914188 Rev. 1.0	2023-11-10
[74]	Technical description Dimensioning Proof E-175 EP5+ Release 1.01	ENERCON	D02875954, Rev. 0.1-en	2023-08-08
[75]	Product Datasheet sech modules 522V 2F module	ENERCON	D02477608 Rev. 0.0	N/A
[76]	Technische Beschreibung Betriebszustände ENERCON Platform Independent Control System (PI-CS) Intern	ENERCON	D02436049 Rev. 0.0-de	2021-09-29

Weitere, in [22] referenzierte, Datenblätter wurden berücksichtigt.

#### 1.2.4 Weitere Dokumente

[77]	Design Base E-175 EP5 / E-175 EP5 E2	ENERCON	D02833990 Rev. 0.2	2023-11-10
[78]	Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen	ENERCON	D0666243 Rev. 6.1	2023-10-12
[79]	Evaluation Report - Design Basis Evaluation E-175 EP5	TÜV SÜD	3743008-1-e-0 Rev. 0	2023-12-04
[80]	Gutachtliche Stellungnahme - Bewertung der Konstruktion - Maschinenbauliche Strukturen, Maschinebauliche Komponenten und Verkleidungen E-175 EP5	TÜV SÜD	3821605-40-d-4 Rev. 0	2024-03-27
[81]	Evaluation Report - Design Evaluation - Rotor Blade, E-175 EP5-RB-01	TÜV SÜD	3821605-31-e-3 Rev. 0	2024-02-26
[82]	Gutachtliche Stellungnahme - Bewertung der Konstruktion - Elektrische Komponenten und Blitzschutz, E-175 EP5	TÜV SÜD	3821605-70-d-5 Rev. 0	2024-03-22
[83]	Prüfbericht für eine Typenprüfung - Prüfung der Standsicherheit - Hybridstahlurm E-175 EP5-HST-132-FB-C-01	TÜV SÜD	3821605-56-d-6 Rev. 0	2024-03-19
[84]	Prüfbericht für eine Typenprüfung - Prüfung der Standsicherheit - Hybridstahlurm E-175 EP5-HST-140-FB-C-01	TÜV SÜD	3743008-28-d-6 Rev. 1	2023-09-21
[85]	Prüfbericht für eine Typenprüfung - Prüfung der Standsicherheit - Hybridturm E-175 EP5-HT-162-ES-C-01 (Bögl E23)	TÜV SÜD	3743008-26-d-6 Rev. 1	2023-08-09



## 2 Grundlage der Evaluierung

### 2.1 Angewendete Standards

Die Evaluierung der Dokumente erfolgte gemäß folgender Normen und Richtlinien:

Ref.	Nummer	Titel
/1/	IECRE OD-501:2022	Type and Component Certification Scheme
/2/	IECRE OD-501-5:2017	Conformity assessment and certification of Control and Protection System by RECB
/3/	DIN EN 61400-22:2011	Windenergieanlagen - Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung
/4/	DIN EN IEC 61400-1:2019	Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen
/5/	DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015

### 2.2 Zusätzliche Standards

Zur Evaluierung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

Ref.	Nummer	Titel
/6/	DIN EN ISO 14122-1:2016	Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 1: Wahl eines ortsfesten Zugangs und allgemeine Anforderungen
/7/	DIN EN ISO 14122-2:2016	Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege
/8/	DIN EN ISO 14122-3:2016	Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 3: Treppen, Treppenleitern und Geländer
/9/	DIN EN ISO 14122-4:2016	Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 4: Ortsfeste Steigleitern
/10/	DIN EN 50308:2004	Windenergieanlagen – Schutzmaßnahmen – Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung
/11/	IEC 61508-1:2021	Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part1: General requirements
/12/	ISO 12100:2010	Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction
/13/	ISO 13849-1:2016	„Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design“



### **3 Beschreibung**

Die Windenergieanlage ENERCON E-175 EP5 mit horizontaler Achse hat eine direkt getriebene Generatoreinheit und eine Nennleistung von 6200 kW. Die Anlage arbeitet im Netzparallelbetrieb und wird mittels Blattwinkelverstellung und variabler Rotordrehzahl geregelt. Die Anlage besitzt keine mechanische Rotorbremse. Das Bremsen und Positionieren des Rotors wird durch die Nutzung des Generators in einem speziellen Modus ermöglicht.

Die Anlagen verfügen über eine Befahranlage und ein Leitersystem mit Fangschutzvorrichtung. In den Türmen und dem Maschinenhaus sowie auf dem Dach können Plattformen, Personenanschlagpunkte und Geländer eingebaut sein.

Das Betriebsführungs- und Sicherheitssystem basiert auf einem industriellen SPS-System. Die 3 Rotorblätter fungieren als unabhängige Hauptbremsysteme, die die Windenergieanlage aus jeder Situation außerhalb des vorgesehenen Betriebsbereichs wieder in einen sicheren Zustand bringen.

### **4 Umfang der Bewertung**

Die in Anhang 1 gelisteten Windenergieanlagen wurden anhand der vorgelegten Unterlagen durch die TÜV SÜD Industrie Service GmbH bewertet.

#### **4.1 Handbücher**

Die in der Tabelle 1 gelisteten Handbücher wurden auf Vollständigkeit und im Hinblick auf die Normen und Richtlinien in Kapitel 2 dieser Stellungnahme und die Konstruktionsbasis [77] und [78] evaluiert. Darüber hinaus wurden stichprobenartige Plausibilitätsprüfungen der Dokumente durchgeführt.

<b>Handbuch</b>	<b>Referenzen</b>
Errichtung	[1] bis [7]
Inbetriebnahme	[8] und [9]
Bedienung	[10]
Wartung	[11] und [12]
Transport	[13] bis [15]

**Tabelle 1: Handbücher**

#### **4.2 Personensicherheit**

Die eingereichten Dokumente für die in Anhang 1 genannten Windenergieanlagen wurden auf Vollständigkeit und Richtigkeit gemäß den Anforderungen an die Personensicherheit in den Grundlagen der Evaluierung in Kapitel 2 evaluiert.



### **4.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS)**

Die Evaluierung der Konstruktion und Funktionalität sämtlicher Elemente des Sicherheitssystems beschränkt sich auf die Komponenten: Sensorik, Logik und Aktuatorik des Sicherheitssystems.

Anstelle der Anforderungen in /4/ Abschnitt 8.3 *“Die Sicherheitsfunktionen müssen im Allgemeinen geeignet sein, eine WEA vor jedem einzelnen Versagen oder Fehler in einer Energiequelle oder einer nicht ausfallsicheren Komponente innerhalb des Systems, das die Sicherheitsfunktionen darstellt, zu schützen.”* wird der Nachweis der funktionalen Sicherheit auf Basis von /13/ erbracht.

Die in /4/ aufgeführten und betrachteten Normen verweisen auf weitere Normen und Standards. Die daraus resultierenden zusätzlichen Anforderungen werden nicht betrachtet.

Stehen abweichende Anforderungen der Windenergieanlagenstandards /1/ bis /5/ im Widerspruch zu denen der weiteren unter Kapitel 2 gelisteten Standards, so wurden zur Prüfung nur die Anforderungen aus /1/ bis /5/ herangezogen.

## **5 Bemerkungen**

### **5.1 Handbücher**

Die evaluierten Handbücher aus Tabelle 1 in Kapitel 4.1 beinhalten alle wesentlichen Tests der Sicherheitseinrichtungen, Wartungsmaßnahmen und Prüfungen, um einen sicheren und dauerhaften Betrieb der Anlage zu gewährleisten. In Übereinstimmung mit den Annahmen der Lastberechnung ist die Durchführung von Wartungsarbeiten nur während der in Handbuch [10] angegebenen Windgeschwindigkeiten erlaubt.

Die Angaben zu Anziehdrehmomenten und -verfahren in den Wartungs- und Errichtungshandbüchern wurden auf Plausibilität / Übereinstimmung mit den entsprechenden Werten aus den geprüften Konstruktionsunterlagen überprüft.

Zur Vermeidung von Schäden durch wirbelerregte Querschwingungen während der Errichtung gelten die Anforderungen in den Dokumenten [3] und [6], siehe Auflage 2.

Der Austausch kritischer Komponenten mit einer gegenüber der restlichen Anlage kürzeren Lebensdauer ist in den Wartungshandbüchern enthalten und wurde auf Plausibilität geprüft.

### **5.2 Personensicherheit**

#### **5.2.1 Sicherheitsanweisungen**

Die Sicherheitsanweisungen der Handbücher [1] bis [15] wurde auf Plausibilität geprüft.

#### **5.2.2 Klettereinrichtungen und Befahranlagen**

Für die verwendeten Leitern und Befahranlagen wurden gültige Zertifikate [46] bis [53] vorgelegt. Die Gültigkeit des Leiterzertifikats [47] ist abgelaufen. In Dokument [45] bestätigt der Hersteller, dass die Leiter weiterhin unverändert gefertigt wird. Basierend auf der Herstellererklärung und einem Vergleich der aktuellen Fertigungszeichnungen mit der Fertigungszeichnung, die dem Zertifikat zugrunde lag, sehen wir kein Risiko im Rahmen der Bewertung der Personensicherheit. Ein gültiges Zertifikat ist vor der Inbetriebnahme der Serienanlagen einzureichen, siehe Auflage 7.



Die Auflager und Halterungen für die Leitern und Befahranlagen sind gemäß /1/ und /3/ ausreichend zu dimensionieren (z.B. nach DIN EN 50308). Sie sind jedoch nicht Bestandteil von Einzel- und Typenprüfungen gemäß /5/.

### **5.2.3 Zugangswege und Durchgänge**

Die Zugangswege und Durchgänge sind in Dokument [10] beschrieben und wurden auf Plausibilität geprüft.

### **5.2.4 Stehplätze, Plattformen, Fußböden und Geländer für Maschinenhaus und Nabe**

Die Stehplätze, Plattformen und Geländer für das Maschinenhaus und die Nabe wurden in Bericht [80] bestätigt.

Die Blatt-Plattform wurde in Bericht [81] bestätigt.

### **5.2.5 Turm-Plattform-Leiter-System**

Die Turm-Plattform-Leiter-Systeme sind gemäß /1/ und /3/ ausreichend zu dimensionieren (z.B. nach DIN EN 50308). Sie sind jedoch nicht Bestandteil von Einzel- und Typenprüfungen gemäß /5/.

### **5.2.6 PSA-Anschlagpunkte**

Die Anordnung von Anschlagpunkten in Turm, Maschinenhaus, Nabe und auf dem Dach sind in Dokument [43] dargestellt.

Die Anschlagpunkte und deren Unterkonstruktion im Maschinenhaus, in der Nabe und auf dem Dach wurden in Bericht [80] bestätigt.

Die von ENERCON hergestellten Anschlagpunkte und deren Unterkonstruktion in den Türmen wurden in [58] bis [61] bestätigt. Die Gültigkeit der Zertifikate [59] und [61] für die Haltegriffe ist abgelaufen. In Dokument [62] bestätigt der Hersteller, dass die Haltegriffe weiterhin unverändert gefertigt werden. Basierend auf der Herstellererklärung sehen wir kein Risiko im Rahmen der Bewertung der Personensicherheit. Gültige Zertifikate sind vor der Inbetriebnahme der Serienanlagen einzureichen, siehe Auflage 8.

Des Weiteren wurden für alle anderen verwendeten Anschlagpunkte gültige Zertifikate [54] bis [57] vorgelegt.

### **5.2.7 Beleuchtung**

Das Beleuchtungskonzept ist in Dokument [44] beschrieben und wurde auf Plausibilität überprüft. Es ist vor Ort zu prüfen, ob die Beleuchtungsstärken der normalen Beleuchtung und der Notbeleuchtung ausreichend dimensioniert sind, siehe Auflage 6.

### **5.2.8 Elektrische Anlagen und Erdungsanlage**

Die elektrischen Anlagen und Erdungsanlage wurden mit Bericht [82] bestätigt.

### **5.2.9 Feuerwiderstand**

Die Beschreibung des Brandschutzkonzepts [17] wurde auf Plausibilität geprüft.



### **5.2.10 Not-Halt Schalter**

Die Ausführung und Anordnung der Not-Halt-Schalter wurden im Rahmen der Bewertung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems in diesem Bericht bestätigt. Die Anordnung der Not-Halt-Schalter ist in Dokument [10] beschrieben.

### **5.2.11 Alternative Fluchtwege**

Alternative Fluchtwege aus dem Maschinenhaus sind in Dokument [16] beschrieben und wurden auf Plausibilität geprüft.

### **5.2.12 Arretierung Rotor und Rotorblätter, Azimutantriebe und Azimutbremsen**

Die Arretierungen für den Rotor und die Rotorblätter sowie die Antriebe und Bremsen für das Azimutsystem wurden in Bericht [80] bestätigt.

### **5.2.13 Anforderungen aus der DIBt-Richtlinie**

Die DIBt-Richtlinie /5/ enthält keine separaten Anforderungen hinsichtlich der Personensicherheit, sondern lediglich einen Verweis auf DIN EN 61400-22 /3/. Aus diesem Grund sind mit Erfüllung der Anforderungen nach /3/ auch alle Anforderungen nach /5/ erfüllt.

## **5.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS)**

Die Beschreibung des Anlagensicherheitskonzeptes kann dem Dokument [20] entnommen werden. Die Betriebsarten und die Voraussetzungen für die Auswahl der Betriebsart sind in [20] und [76] beschrieben.

Für die spezifizierten Sicherheitsfunktionen wurde die geforderte Qualität der jeweiligen Sicherheitsfunktion („Performance level required“) ermittelt und anschließend von ENERCON verifiziert. Als Grundlage für dieses Verfahren wurde vom Hersteller die Norm /13/ gewählt. Die Berechnung des „Performance Levels“ (PL) der einzelnen Schutzfunktionen ist in Dokument [22] dargestellt.

Die Funktionalität und Interaktion der Not-Halt-Taster mit dem Sicherheitssystem wurde von ENERCON in [20] nachgewiesen und von TÜV SÜD bewertet.

Ein Nachweis über die hinreichende Kapazität der Energiespeicher für das Notverfahren der einzelnen Blätter wurde erbracht, siehe [74]. Regelmäßige automatische Tests werden durchgeführt, um eine ausreichende Verfügbarkeit der Energiespeicher zu gewährleisten.

Die Einhaltung der Softwareanforderungen für Implementierung und Test sowie der Freigabe-Zyklus sind in [23] beschrieben.

Die Spezifikation für den Sicherheits- und Funktionstest (engl. *safety and function test*) kann Dokument [24] entnommen werden.



## 6 Gutachtliche Stellungnahme

Die Anforderungen aus /1/ und /3/ zur Evaluierung der Personensicherheit werden von den Windenergieanlagen E-175 EP5 wie im Folgenden dargestellt erfüllt:

	HST-132	HST-140	HT-162
Sicherheitsanweisungen	+	+	+
Klettereinrichtung	+	+	-
Befahranlage	+	+	+
Zugangswege und Durchgänge	+	+	+
Stehplätze, Plattformen, Fußböden und Geländer in der Gondel	+	+	+
Turm-Plattform-Leiter-System	-	-	-
PSA-Anschlagpunkte in der Gondel	+	+	+
PSA-Anschlagpunkte im Turm	+	+	+
Beleuchtung	+	+	+
Elektrische Anlagen und Erdungsanlage	+	+	+
Feuerwiderstand	+	+	+
NOT-HALT-Schalter	+	+	+
Alternative Fluchtwege	+	+	+

(+ = Anforderungen an die Personensicherheit gemäß /1/ und /3/ sowie der Konstruktionsbasis [78] und [79] werden mit den eingereichten Unterlagen erfüllt.

- = nicht zur Prüfung eingereicht, da gemäß /5/ die Begutachtung der Personensicherheit nicht gefordert ist)

Die zur Evaluierung der Handbücher und des Sicherheitssystems (CAPS) vorgelegten Dokumente für die Windenergieanlage entsprechen den Anforderungen des in Kapitel 2 angegebenen Zertifizierungsschemas und der Konstruktionsbasis [78] und [79], sofern die nachstehenden Bedingungen erfüllt sind.

Komponenten wurden für die im Anhang aufgeführten Turbinenkonfigurationen evaluiert.

### Auflagen

#### **Handbücher:**

1. Die Handbücher müssen in der Sprache verfügbar sein, die vom Betreiber- und Wartungspersonal verstanden wird.
2. In Bezug auf Wirbelerregte Querschwingungen sind die Standzeiten für Bauzustände entsprechend den Angaben der Dokumente [3] und [6] zu beschränken.



3. Die finalen Handbücher für Inbetriebnahme und Wartung [8], [9], [11] und [12] müssen bis zur Inbetriebnahme der Serienanlagen eingereicht und geprüft werden.
4. Die finalen Protokolle für Errichtung und Wartung müssen bis zur Inbetriebnahme der Serienanlagen mit dem jeweiligen Turmtyp eingereicht und geprüft werden.
5. Die Windenergieanlagen sind in regelmäßigen Abständen durch Sachverständige zu überprüfen. Die Prüfintervalle hierfür betragen höchstens 2 Jahre, dürfen jedoch auf vier Jahre verlängert werden, wenn durch von der Herstellerfirma autorisierte Sachkundige eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird.

#### **Personensicherheit:**

6. Die Beleuchtung sowie die Notbeleuchtung sind vor Ort nach der Errichtung des Prototyps hinsichtlich ausreichender Lichtstärke zu überprüfen.
7. Ein gültiges Zertifikat für die Einholmsteigleiter ist vor der Inbetriebnahme der Serienanlagen einzureichen.
8. Gültige Zertifikate für die in den Türmen installierten Handgriffe sind vor der Inbetriebnahme der Serienanlagen einzureichen.

#### **Betriebsführungs- und Sicherheitssystem (CAPS):**

9. Es ist sicherzustellen, dass regelmäßige automatische Prüfungen der Energiespeicher für das Notverfahren der einzelnen Blätter durchgeführt werden.
10. Es ist sicherzustellen, dass die Blattverstell- und Windnachführungssysteme (inklusive Notstromversorgung) von der Spannungsquelle getrennt werden, falls Arbeiten an diesen Komponenten durchgeführt werden. Entsprechende Maßnahmen, die einen spannungslosen Zustand während der gesamten Dauer der Arbeiten gewährleisten, sind zu treffen.
11. Es muss sichergestellt werden, dass Windgeschwindigkeitsgrenzen beim Aufenthalt in der Anlage beachtet werden. Die Maßnahmen entsprechend der Betriebsanleitung [10] sind umzusetzen.

#### **TÜV SÜD Industrie Service GmbH Abteilung Windenergieanlagen**

Bewertung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Bolzmacher', written over a light blue grid background.

H. Bolzmacher

Evaluierung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'B. Ober', written over a light blue grid background.

B. Ober



### **Anhang 1: Evaluierte Windenergieanlagen**

<b>Windenergieanlage</b>	<b>Rotor- durchmesser [m]</b>	<b>Nenn- drehzahl [rpm]</b>	<b>Zugehörige Türme</b>	<b>Turmberichte</b>
E-175 EP5	175	3.05 - 10.94	HST-132 HST-140 HT-162	[83] [84] [85]

**Tabelle 2: Turbinenvarianten und zugehörige Türme**



## **Anhang 2: Komponenten Personensicherheit**

<b>Komponente / Bauteil</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Typ</b>	<b>Zertifikate / Datenblätter</b>
Leiter 1	Hailo Wind Systems	60x20	[46]
Leiter 2	SCS	Steigleiter mit Mittelholm	[47]
Leiter 3	SCS	Steigleiter mit Seitenholmen	[48]
Fallschutzsystem der Leiter	Bornack MKL-Technik SHE Solution Bergmann	Railstop RS-S06 / RS-S Twinstop Climbtec CT02	[49] [50] [51]
Service Lift 1	Hailo	Toplift L1+	[52]
Service Lift 2	Goracon	GWB-300-L	[53]
PSA Anschlagpunkte allgemein	RUD Ketten	PSA VRS M16 PSA VRS M20 PSA INOX STAR M16 PSA INOX STAR M20	[54] [55] [56] [57]
PSA Anschlagpunkte in den Türmen	ENERCON	Ankerpunkte an Längs- und Querstößen in HST-Türmen Haltegriffe	[58] [59], [60], [61]
Beleuchtung / Notbeleuchtung	Wieland electric	PODIS LED Lamp RST 120VDC 5W STD PODIS LED Lamp RST 60VDC 20W LCR	[63] [64]



### **Anhang 3: CAPS – Evaluierte Komponenten**

<b>Komponente</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Typ</b>
Pitchumrichter	KEBA Industrial Automation Germany GmbH	PitchOne
Blattwinkelsensor	KÜBLER	Multiturn Sendix F5863
Motordrehwinkelsensor	Heidenhain	EQI 1331
Energiespeicher Pitchsystem	SECH SA	M12S-522-0002
SLC (Sichere Steuerung)	Phoenix Contact	BPC 9102S
Sicheres Eingangsmodul	Phoenix Contact	SAI-AXL F PSAI 8 1F SDI-AXL SE PSDI8/3
Sicheres Ausgangsmodul	Phoenix Contact	SDO-AXL SE PSDO4
Magnetsensor Rotor	TWK Supreme Sensoring	NBT-D/S3
Windgeschwindigkeits- sensor	Adolf Thies GmbH	Compact
	Adolf Thies GmbH	ULTRASONIC 2D Compact
Vibrationssensor	TWK Supreme Sensoring	NVT/S3

**Tabelle 3 : Wesentliche sicherheitsbezogene Komponenten**



SYSTEMTECHNIK, SICHERHEIT UND RISIKO

## Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 22.03.2024

**Prüfnummer:** 3821605-70-d-5 Rev.0

**Objekt:** **Bewertung der Konstruktion -  
Elektrische Komponenten und Blitzschutz**  
Windenergieanlage Enercon E-175 EP5 50 Hz  
Rotorblatt Typ E-175 EP5-RB-01

**Prüfgrundlage:** DIN EN 61400-22:2011  
sowie DIBt Richtlinie 2012  
IECRE OD-501 Ed. 3.0

**Hersteller,  
Auslegung und  
Berechnung:** ENERCON Global GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Germany

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

Unser Zeichen:  
IS-ESR11-MUC/be

Bericht Nummer:  
3821605-70-d-  
5\_Rev.0\_Enercon\_E-  
175\_EP5\_EC.docx

Das Dokument besteht aus  
23 Seitens.  
Seite 1 von 23

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

Die Prüfergebnisse beziehen sich  
ausschließlich auf die untersuchten  
Prüfgegenstände.

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

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

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
Energie und Systeme  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland

[tuvsud.com/de-is](http://tuvsud.com/de-is)  
Telefon: 089 5791-4001

**TÜV®**



Revision	Datum	Änderungen
0	22.03.2024	<u>Erstausgabe</u>

**Inhaltsverzeichnis**

**1. Unterlagen.....3**

**2. Prüfgrundlage .....11**

**3. Umfang der Prüfung .....11**

**4. Beschreibung .....12**

**5. Ergebnis der Evaluierung .....19**

**6. Bedingungen .....19**

**Annex: Bewertete Komponenten für Enercon E-175 EP5.....20**



## **1. Unterlagen**

### **1.1. Geprüfte Unterlagen**

Folgende Unterlagen, wenn nicht gesondert vermerkt, wurden von ENERCON Global GmbH ausgestellt und wurden zur Prüfung eingereicht:

#### **Allgemein**

- [1] "Design Base E-175 EP5 / E-175 EP5 E2", Dokument Nr.: D02833990, rev.0.2
- [2] "Insulation coordination evaluation E-175 EP5 E1",  
Dokument Nr.: D02927842\_0.0\_en, Revision 0
- [3] "Technical description\_E-160 EP5 E3 R1 and E-175 EP5 Location designation",  
Dokument Nr.: D02763824\_5.0\_en, Revision 5
- [4] "Technical data sheet\_Netztechnische Leistungsmerkmale FACTS 2.0", Dokument Nr.:  
D02731630\_2.0\_de, Revision 2
- [5] "Technical data sheet\_Grid Performance E-175 EP5 - 6000 kW - FT", Dokument Nr.:  
D02768313\_1.0\_en, Revision 1
- [6] "Technical data sheet\_Grid Performance E-175 EP5 - 6000 kW - FTQ",Dokument Nr.:  
D02768315\_1.0\_en, Revision 1
- [7] "Technical data sheet\_Grid Performance E-175 EP5 - 6000 kW - FTS",Dokument Nr.:  
D02768316\_2.0\_en, Revision 2
- [8] "Technical data sheet\_Netztechnische Leistungsmerkmale E-175 EP5 - 6000 kW - FTQS",  
Dokument Nr.: D02768320\_2.0\_de, Revision 2
- [9] "Technical specification\_FRT-LVRT Verhalten", Dokument Nr.: D02872936\_0.0\_de,  
Revision 0

#### **Schaltpläne**

- [10] "E-175 EP5 Customer circuit diagram", Dokument Nr.: D02928452\_0.1-en, Revision 0.1
- [11] "E-175 EP5 E1 Overview diagrams Nacelle", Dokument Nr.: D02932013\_0.0\_en,  
Revision 0
- [12] "E-175 EP5 E1 Overview diagrams Rotor-Hub", Dokument Nr.: D02932015\_0.0\_en,  
Revision 0
- [13] "E-175 EP5 E1 Overview diagrams Tower", Dokument Nr.: D02932019\_0.0, Revision 0
- [14] "LVD\_Grid\_with blade heating", Dokument Nr.: D02782588\_1.0\_en, Revision 1
- [15] "LVD\_Grid\_without blade heating", Dokument Nr.: D02782590\_1.0\_en, Revision 1
- [16] "+UMD29UC302-UC001", Dokument Nr.: D02789134\_3.0\_en, Revision 3
- [17] "+UMD29UC101-UC001", Dokument Nr.: D02793104\_2.0\_en, Revision 2
- [18] "+MUD10UC418 customer interface cabinet STD", Dokument Nr.: D02794484\_1.0\_en,  
Revision 1
- [19] "Cooling Control Cabinet", Dokument Nr.: D02795376\_2.0\_en, Revision 2
- [20] "+UMD29UC401 communication distributor V3 STD", Dokument Nr.: D02796530\_2.0\_en,  
Revision 2



- [21] "+MUD10UC413 Nacelle light and presence switch", Dokument Nr.: D02797667\_2.0\_en, Revision 2
- [22] "+MUD10UC416 Wind Measuring Frame Heating Terminal Box 1 V1", Dokument Nr.: D02797671\_1.0\_en, Revision 1
- [23] "+MUD10UC406 Splice Box E-Nacelle V2 STD", Dokument Nr.: D02797679\_2.0\_en, Revision 2
- [24] "+MUD10UC408", Dokument Nr.: D02799081\_2.0\_en, Revision 2
- [25] "LVD-AUX", Dokument Nr.: D02799570\_1.1\_en, Revision 1.1
- [26] "+MUD10UC102 Main Distribution and Yaw Inverter Cabinet V1", Dokument Nr.: D02799713\_2.0\_en, Revision 2
- [27] "Sub-Distribution Power Cabinet", Dokument Nr.: D02809164\_2.0\_en, Revision 2
- [28] "+MUD10UC401 Hybrid\_1, NC", Dokument Nr.: D02911208\_0.0\_en, Revision 0
- [29] "+MUD10UC411 blade heating disconnection box V1 STD", Dokument Nr.: D02912488\_0.0\_en, Revision 0
- [30] "+MUD10UC402 Main Light Control\_With option LSD Rotor", Dokument Nr.: D02912507\_0.0\_en, Revision 0
- [31] "+MUD10UC301 nacelle control cabinet V1 PROT", Dokument Nr.: D02913023\_0.0\_en, Revision 0
- [32] "+MUD10UC415 Meter Cabinet V1 STD", Dokument Nr.: D02799268\_2.0\_en, Revision 2
- [33] "Assembly circuit diagram\_Control Cabinet Blade Heating System MDA20UC402", Dokument Nr.: D02901069\_0.0\_en, Revision 0
- [34] "Assembly circuit diagram\_circuit diagram +MDA10UC201 main distribution V1 with add. sensor", Dokument Nr.: D02901093\_0.0\_en, Revision 0
- [35] "Assembly circuit diagram\_circuit diagram +MDA11UC021 NG pitch V1 blade 1 with 2 capacitor boxes STD", Dokument Nr.: D02901419\_0.0\_en, Revision 0
- [36] "Assembly circuit diagram\_circuit diagram +MDA12UC021 NG pitch V1 blade 2 with 2 capacitor boxes STD", Dokument Nr.: D02901425\_0.0\_en, Revision 0
- [37] "Assembly circuit diagram\_MDA20UC404 - Lighting sub-distribution rotor", Dokument Nr.: D02911490\_0.0\_en, Revision 0

## **Niederspannung**

- [38] "Technical data sheet", Dokument Nr.: D02764052\_0.0\_de, Revision 0
- [39] "Calculation report LVD Grid E-160 EP5 E3 R1", Dokument Nr.: D02792471\_0.2\_en, Revision 2
- [40] "Short Circuit Calculation Report E-175 EP5 E1 With blade heating", Dokument Nr.: D02923009\_0.0\_en, Revision 0
- [41] "E-175 EP5 E1 Load calculation table", Dokument Nr.: D02971423\_0.0\_en, Revision 0
- [42] "Arc Flash Calculation Report E-175 EP5 E1 With Blade Heating", Dokument Nr.: D02926024\_0.0\_en, Revision 0
- [43] "Specification auxiliary supply transformer", Dokument Nr.: D02581583\_1.0\_en, Revision 1
- [44] "SBA-TrafoTech GmbH", Dokument Nr.: D02964712\_0.0\_de-en, Revision 0



## **Energiespeicher WEA**

[45] "Central Battery System", Dokument Nr.: D02926718\_1.0\_de, Revision 1

## **Generator**

- [46] "+MKA11UC302 Generator Stator Cabinet V1 4F PT", Dokument Nr.: D02912566\_0.0\_en, Revision 0
- [47] "+MKA11UC303 Generator Rotor Connection Box 1 V1", Dokument Nr.: D02912567\_0.0\_en, Revision 0
- [48] "+MKA11UC303 Generator Rotor Connection Box 2 V1", Dokument Nr.: D02912568\_0.0\_en, Revision 0
- [49] "Generator\_Data-Sheet\_E-175 EP5-GE-01", Dokument Nr.: D02928043\_2.0\_en, Revision 2
- [50] "Testspezifikation Generator E-175 EP5-GE-01", Dokument Nr.: D02959226\_0.0\_de, Revision 0
- [51] "Certification E175 EP5 acc to DIN EN IEC 60034", Dokument Nr.: D02929873\_0.1, Revision 0.1
- [52] "Simulation E-175 EP5, E-175 EP5 E2 Generator acc. to DIN EN 60034 9.8 and 9.9", Dokument Nr.: D02941362\_0.1, Revision 0.1

## **E-Brake**

[53] "Simulation E-175 EP5 E-175 EP5 E2\_ E-brake", Dokument Nr.: D02941275\_0.1, Revision 0.1

## **Umrichter**

- [54] "Technical\_Specification\_Powerboost\_Converter", Dokument Nr.: D02875925\_1.0\_en, Revision 1
- [55] "Technisches Datenblatt\_Powerboost-Converter", Dokument Nr.: D02798739\_0.0\_de, Revision 0
- [56] "Declaration of conformity\_EG", Dokument Nr.: D0376121\_17.0\_de, Revision 17
- [57] "Confirmation letter\_Powerboost-Converter - PBC STD", Dokument Nr.: 2024-03-13\_ENERCON Confirmation letter\_Powerboost-Converter - PBC STD, Revision -
- [58] "Assembly drawing\_power cabinet", Dokument Nr.: D02798546\_1.0, Revision 1
- [59] "Hydraulic diagram\_Facelift Powerboost - flow diagram", Dokument Nr.: D02832311\_0.0\_en, Revision 0
- [60] "Name\_Plate\_Powerboost\_Converter", Dokument Nr.: D02880862\_0.1\_en, Revision 0.1
- [61] "Test specification Power Boost 1", Dokument Nr.: D02872479\_0.2-en, Revision 0.2
- [62] "ER Electrical Equipment and Lightning Protection E-160 EP5 E3 R1 TN 8120863590-005-001-00 (Certificate), Dokument Nr.: D02957921\_0.0\_en, Revision 0

## **Transformator**

[63] "Technical Specification for Nacelle MV-Transformer 7,1 MVA 750V KW", Dokument Nr.: D02888457\_3.0\_en, Revision 3



[64] "Testing procedure FAT EP3 EP5 E-Nacelle Transformer", Dokument Nr.: D02291962\_2.0\_en, Revision 2

#### **J. Schneider**

- [65] "D02894147\_0.2\_Draft 1076207 JS Trafo JS 7,1 15-0,75 KWGE2 50Hzn5 +4x2,5", Dokument Nr.: D02894147\_0.2, Revision 0.2
- [66] "D02985884\_0.0-de - Dimensional drawing J. Schneider E-Nacelle transformer", Dokument Nr.: D02985884\_0.0\_de, Revision 0
- [67] "D02985894\_0.0-de\_ - type plate J.Schneider E-175 E-Nacelle transformer (Technical information)", Dokument Nr.: D02985894\_0.0\_de, Revision 0
- [68] "D02985821\_0.0\_en - Instruction Manual J. Schneider E-Nacelle transformer (Manufacturing instructions)", Dokument Nr.: D02985821\_0.0\_en, Revision 0
- [69] "D02985876\_0.0\_Test plan for J. Schneider E.Nacelle transformer (Test report)", Dokument Nr.: D02985876\_0.0, Revision 0
- [70] "D02986009\_0.0-en\_-en - Test on E-175 J. Schneider transformer (Test report)", Dokument Nr.: D02986009\_0.0\_en, Revision 0
- [71] "EU Konformitätserklärung (EU conformity statement)", Dokument Nr.: D02996205\_0.0\_de, Revision -

#### **SGB**

- [72] "D02892734\_0.0-en\_ Draft 1076047 SGB Trafo SB 7,1 20-0,75 KWGE2 50Hzn5 +4x2,5 (Technical data sheet)", Dokument Nr.: D02892734\_0.0\_en, Revision 0
- [73] "D02964610\_0.0-en\_en\_SGB\_Trafo Konformitätserklärung DST 7100 H\_20 (Declaration of conformity)", Dokument Nr.: D02964610\_0.0\_de, Revision 0
- [74] "D02964613\_0.0-en\_ SGB\_Trafo Konformitätserklärung DST 7400 H\_42 (Declaration of conformity)", Dokument Nr.: D02964613\_0.0\_de, Revision 0

#### **Siemens**

- [75] "1073757 Siemens Trafo SE 7,4 360,75 KWGE 50Hzn5 ±2x2,5(Technical data sheet)", Dokument Nr.: D02876966\_0.0\_en, Revision 0
- [76] "Instruction Manual Siemens E-175 E1 Transformers", Dokument Nr.: D03003425\_0.0\_en, Revision 0
- [77] "Siemens test plan E-175 test transformer", Dokument Nr.: D03003433\_0.0\_en, Revision 0
- [78] "Siemens Manufacturer Certificate EP5 E-175 E1", Dokument Nr.: D03003590\_0.0\_en, Revision 0
- [79] "Interner Testreport", erstellt von Siemens, Dokument Nr.: 1814456, Revision 00
- [80] "Oil leakage test", erstellt von Siemens, Dokument Nr.: 1814465\_2200018654, Revision -
- [81] "Schock and Vibration Test\_ Test Report", Dokument Nr.: D03003428\_0.0\_en, Revision 0
- [82] "Test reports", erstellt von Siemens, Dokument Nr.: D.230072.1.1\_1814456, Revision -
- [83] "Declaration of conformity", Dokument Nr.: D02996205\_0.0\_en, Revision 0



### **Mittelspannungsschaltanlage**

- [84] "Pressure increase during an arc", Dokument Nr.: D02887793\_1.0, Revision 1
- [85] "Technical Specification\_V6- medium-voltage switchgear", Dokument Nr.: D1015798\_4.0-en, Revision 4
- [86] "Technical Specification V7 medium-voltage switchgear", Dokument Nr.: D02816086\_1.0-en, Revision 1
- [87] "Selecting transformer protection (Technical description)", Dokument Nr.: D02108188\_18.1-de, Revision 18.1
- [88] „Techn-Spec\_Parametrierung Sprecher Schutzrelais Schaltanlage V6 Leistungstrafo", Dokument Nr.: D02628755\_2.0-en, Revision 2

### **Siemens**

- [89] "GIS Declaration of Conformity", Dokument Nr.: D02709316\_0.0, Revision 0
- [90] "Siemens - 8DJH 24kV RL ARS V7\_technical description", Dokument Nr.: D02880769\_0.0\_de, Revision 0
- [91] "SAP 1074193- circuit diagram 8DJH 24kV RL", Dokument Nr.: D02880710\_1.0-de, Revision 1
- [92] "Manufacturers Declaration MV switchgears (Manufacturer´s certificate)", Dokument Nr.: D02966382-2.0\_en, Revision 2
- [93] "Type Test Summery\_Enercon RRI 24kV", Dokument Nr.: Type Test Summery\_Enercon RRI 24kV, Revision -

### **Azimut Motor**

- [94] "Technical specification\_NG-Yaw Motor", Dokument Nr.: D02581962\_0.1\_en, Revision 0.1
- [95] "Technical Drawing Bonfiglioli NG-Yaw motor", Dokument Nr.: D02485818\_1.0\_en, Revision 1
- [96] "Declaration of conformity\_EU", Dokument Nr.: D02553299\_1.0\_en, Revision 1
- [97] "Test report certification NG-Yaw motor Bonfiglioli", Dokument Nr.: D02630739\_1.0\_en, Revision 1
- [98] "Certification data sheet Bonfiglioli NG Yaw motor", Dokument Nr.: D02563703\_0.0, Revision 0

### **Azimut Umrichter**

- [99] "NG Yaw Converter System Specification", Dokument Nr.: D02971658\_1.0\_en, Revision 1
- [100] "SINAMCS S120 - EU Declaration of Conformity", Dokument Nr.: D02979223\_0.0, Revision 0
- [101] "6SL3100-0BE28-0AB0\_datasheet\_de", Dokument Nr.: D02323372\_0.0 -en, Revision 0
- [102] "6SL3130-7TE28-0AA3\_datasheet\_de", Dokument Nr.: D02350494\_0.0-de, Revision 0
- [103] "6SL3120-2TE21-8AD0", Dokument Nr.: D02298465\_0.0-de, Revision 0
- [104] "6SL3400-1AE31-0AA1\_datasheet\_de ", Dokument Nr.: D02298262\_0.0-de, Revision 0



### **Pitch Motor System**

- [105] "Specification NG-Pitch Motor EP5 R1 - EP5+", Dokument Nr.: D02735048\_0.0\_en, Revision 0
- [106] "Technical data sheet", Dokument Nr.: D0870504\_0\_de, Revision 0
- [107] "Part drawing\_Bonfiglioli", Dokument Nr.: D02758556\_0.0\_en, Revision 0
- [108] "Technical data sheet\_Bonfiglioli", Dokument Nr.: D02869488\_0.0\_en, Revision 0
- [109] "Declaration of Conformity NG-Pitch Motor EP5", Dokument Nr.: D02871452\_0.0\_en, Revision 0

### **Pitch Umrichter System**

- [110] "Pitch Converter NG", Dokument Nr.: D02372095\_0.0, Revision 0
- [111] "Operating manual\_KEBA - PitchOne Betriebsanleitung", Dokument Nr.: D0918644\_6.0\_de, Revision 6.0
- [112] "Technical Data Sheet PitchOne CAM2", Dokument Nr.: D02870132\_0.0, Revision 0
- [113] "Technical Data Sheet PitchOne DRM", Dokument Nr.: D02899036\_0.0\_de, Revision 0
- [114] "Organisational presentation\_KEBA-NG Pitch", Dokument Nr.: D02885972\_0.0\_de, Revision 0
- [115] "KEBA PitchOne Ausführungsbeschreibung", Dokument Nr.: D0918650\_9.0.-de, Revision 9

### **Pitch Energiespeicher System**

- [116] "Specification Pitch Energy Storage", Dokument Nr.: D0915962\_3.0-de, Revision 3
- [117] "Sech Cabinet Concept", Dokument Nr.: D1019298\_2.0-de, Revision 2.0
- [118] "Sech Cabinet datasheet 522V 6.2F", Dokument Nr.: D02477608\_0.0, Revision 0
- [119] "Sech Certificate of conformity", Dokument Nr.: D02531501\_0.0\_de, Revision 0
- [120] "Dimensioning Proof E-175 EP5+", Dokument Nr.: D02875954\_0.1-de, Revision 0.1

### **Blitzschutz**

- [121] "Lightning Protection Wind Energy Converter", Dokument Nr.: D0260891\_18.0\_en, Revision 18
- [122] "Technical description\_Blitzschutz Windenergieanlagen", Dokument Nr.: D0260891\_18.0\_de, Revision 18
- [123] "Gutachtliche Stellungnahme ENERCON E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1 - Elektrische Komponenten und Blitzschutz – GS-8120863590-005-002-00", Dokument Nr.: D02957922\_0.0\_en, Revision 0

### **Rotorblatt**

- [124] "Technische Beschreibung\_Blitzschutzsystem Rotorblatt E-175 EP5-RB-01", Dokument Nr.: D02925610\_1.0, Revision 1
- [125] "Test report\_Rotorblatt Tiprezeptor E82-2", Dokument Nr.: D0348030-0, Revision 0
- [126] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02942968\_0.0\_en, Revision 0



- [127] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02942969\_0.0\_en, Revision 0
- [128] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02943430\_0.0\_en, Revision 0
- [129] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02942970\_0.0\_en, Revision 0
- [130] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02942971\_0.0\_en, Revision 0
- [131] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02942976\_0.0\_en, Revision 0
- [132] "High-current Test Report Enercon", Dokument Nr.: D02942979\_1.0\_en, Revision 1
- [133] "Prüfanweisung\_Spezifikation Hochspannungstest Rotorblatt E175 EP5", Dokument Nr.: D02959237\_0.1\_de, Revision 0.1
- [134] "Spezifikation Hochstromtest ENERCON Blitzschutzsystem Zertifizierung TÜV Süd", Dokument Nr.: D0338792\_2\_de, Revision 2
- [135] "Technischer Bericht\_Mesh High-current – Arc Entry Test", Dokument Nr.: D02927969\_0.0\_en, Revision 0
- [136] "Technische Spezifikation\_ALU mesh overlap - Test Specification", Dokument Nr.: D02928023\_0.0\_en, Revision 0
- [137] "Prüfbericht\_Tip and Receptor high current", Dokument Nr.: D02928149\_0.0\_en, Revision 0
- [138] "Technische Spezifikation\_high current – conducted current test AL-Mesh Specification", Dokument Nr.: D02928153\_0.0\_en, Revision 0
- [139] "Technischer Bericht\_high current – conducted current test AL-Mesh", Dokument Nr.: D02928155\_0.0\_en, Revision 0
- [140] "Technischer Bericht\_40000049-06 V1\_0 Lightning Risk Exposure Assessment", Dokument Nr.: D02928872\_0.0\_en, Revision 0
- [141] "Technical specification\_Nachweis zur Zertifizierung Blattspitze E-175 EP5-RB-01", Dokument Nr.: D02930501\_0.1\_de, Revision 0.1

## **Erdungssystem**

- [142] "Earthing Overview", Dokument Nr.: D02910286\_0.0\_en, Revision 0
- [143] "Equipotential Bonding Hub", Dokument Nr.: D02910370\_0.0\_en, Revision 0
- [144] "Equipotential Bonding Nacelle", Dokument Nr.: D02910376\_0.0\_en, Revision 0
- [145] "Guideline\_Erdung", Dokument Nr.: D02109541\_3.0\_en, Revision 3
- [146] "Leitfaden Erdung ", Dokument Nr.: D02109541\_3.0-de, Revision 3
- [147] "DE\_E23\_003\_XX\_X\_Erdungsplan E-175 EP5-HT-162-ES-C-01-Turm", Dokument Nr.: D02784475\_0.0-de-en, Revision 0
- [148] "E-175 EP5-HT-162-ES-C01 overview pipe penetration (Reinforcement plan)", Dokument Nr.: D02784477\_1.0-de\_en, Revision 1
- [149] "HST-140\_Duct and Lightning (Assembly drawing)\_FF", Dokument Nr.: D02785888\_1.0-de-en, Revision 1
- [150] "ST-112\_Duct and Lightning (Assembly drawing)\_FF", Dokument Nr.: D02878739\_0.0-de-en, Revision 0
- [151] "HST-132\_Duct and lightning plan (Assembly drawing)\_FF", Dokument Nr.: D02888989\_0.2-de-en, Revision 0



- [152] "ST-112\_Duct and Lightning (Assembly drawing)\_DF", Dokument Nr.: D02899066\_0.0-de-en, Revision 0
- [153] "HST-132\_Duct and lightning plan (Assembly drawing)\_DF", Dokument Nr.: D02910744\_0.0-de-en, Revision 0

## **Kabel**

### **Gondel**

- [154] "Specification Aluminium cables for ENERCON E-Nacelles", Dokument Nr.: D02786272\_0.0\_en, Revision 0
- [155] "Technical information design power cable nacelle E-175 EP5 (HP++ Generator)", Dokument Nr.: D02885171\_0.2\_en, Revision 0.2
- [156] „Layout drawing\_cable set“, Dokument Nr.: D02797501\_0.0, Revision 0
- [157] „Technical data sheet\_Ecki2022-01\_Doppelloch\_625mm\_AI-vz\_M12“, Dokument Nr.: D02744298\_0.0\_de, Revision 0
- [158] "Towerflex AS GL A3GSHOEU R 3KV en AL 630mm", Dokument Nr.: D02748707\_0.0\_en, Revision 0
- [159] "Towerflex S GL S 3GSGHOEU K 3kV CU 500mm", Dokument Nr.: D02748718\_0.0\_en, Revision 0

### **Turm**

- [160] "Technical specification\_Specifcation electrical equipment HST&ST&HT - tower E-160 EP5 E3 R1 & E-175 EP5", Dokument Nr.: D02762345\_2.0\_en, Revision 2
- [161] "Technical data sheet\_WINDFLEX-S\_-N-TSCGEHX\_-3\_35\_GB", Dokument Nr.: D0793217\_0\_de, Revision 0

### **Schleifring**

- [162] "Technical Specification\_Slip ring unit EP5-002-BH1-ENC0-FORJ1.", Dokument Nr.: D02946059\_0.0-en, Revision 0
- [163] "+MDA20UC403 slip ring unit BH1", Dokument Nr.: D02952920\_0.0, Revision 0
- [164] "Technical Specification\_Slip ring unit EP5-002-BH0-ENC0-FORJ1", Dokument Nr.: D02952745\_0.0-en, Revision 0
- [165] "+MDA20UC403 slip ring unit BH0", Dokument Nr.: D02952921\_0.0, Revision 0
- [166] "Datasheet\_Slipring unit V1.0 Enercon E-175 EP5 with blade heating", Dokument Nr.: D02951804\_0.0\_en, Revision 0
- [167] "+MDA20UC403 Slip Ring Unit m.B.", Dokument Nr.: D02912689\_0.0\_en, Revision 0
- [168] "Datasheet\_Slipring unit V1.0 Enercon E-175 EP5 without blade heating", Dokument Nr.: D02952051\_0.0\_en, Revision 0
- [169] "+MDA20UC403 slip ring unit BH0", Dokument Nr.: D02952922\_0.0, Revision 0



## **2. Prüfgrundlage**

Die Beurteilung der technischen Unterlagen erfolgte nachfolgenden Normen und technischen Regelwerken:

- /1/ DIN EN IEC 61400-1:2011 „Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- /2/ DIN EN 61400-22:2011, „Windenergieanlagen – Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung“
- /3/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012
- /4/ DIN EN IEC 61400-24:2019 „Windenergieanlagen – Teil 24: Blitzschutz (IEC 61400-24:2019); Deutsche Fassung EN IEC 61400-24:2019“
- /5/ IECRE OD-501:2022 Ed.3 “Type and Component Certification Scheme”
- /6/ IECRE OD-501-7:2019 “Conformity assessment and certification of Main Electrical Components by RECB”

## **3. Umfang der Prüfung**

Die Ausführung der elektrischen Komponenten der Windenergieanlagen vom Typ Enercon E-175 EP5 wurde anhand der vorgelegten Unterlagen durch die TÜV SÜD Industrie Service GmbH überprüft.

Die Anforderungen an die elektrischen Komponenten sind in /1/, Kapitel 10 „Elektrische Anlage“ definiert. Die Bewertung erfolgt anhand der Vorgaben von /2/, Kapitel 8.3.7. „Elektrische Komponenten“ in Bezug auf die in /6/ genannten Anforderungen.

Des Weiteren wird /4/ für die Eignung des äußeren und inneren Blitzschutzsystems der Windenergieanlage herangezogen.

Nicht Gegenstand der Bewertung sind:

- Getriebe als Teil elektrischer Antriebe
- Umfang der Inspektion
- Reihenfolge der Inspektion

Die genannten Richtlinien und Normen verweisen auf weitere Richtlinien und Normen. Die sich daraus ergebenden zusätzlichen Anforderungen, die anwendbar sind, sind Teil dieser Bewertung.

Gibt es abweichende Anforderungen der Norm für Windenergieanlagen /1/ und /2/ im Widerspruch zu anderen in Abschnitt 2 genannten Normen so werden nur die Anforderungen aus /1/ und /2/ berücksichtigt.



## 4. Beschreibung

### Elektrische Komponenten

Im folgenden Abschnitt sind die wichtigsten elektrischen Komponenten aufgeführt. Die Einhaltung der Anforderungen von /1/ wird anhand der bereit gestellten Dokumente dargelegt.

#### 4.1. Allgemein

Die elektrischen Parameter der Windkraftanlage Enercon E-175 EP5 sind in den Dokumenten [1] - [9] beschrieben. Die technischen Daten lauten wie folgt:

Technische Daten		Wert
Nennfrequenz	$f_n$	50 Hz 60 Hz
Nenn Wirkleistung	$P_n$	6000 kW
Nenn Blindleistung	$Q_n$	3780 kvar
Scheinleistung	$S_{max}$	7100 kVA
Nennspannung	$U_n$	750 V
Nennstrom	$I_n$	4619 A
Rated current	$I_{max}$	6000 A
Maximaler symmetrischer Anfangskurzschlussstrom	$I_{k'' ,max}$	6300 A
Maximaler periodischer Anfangskurzschlussstrom	$I_{p,max}, \sqrt{2} \times I_{k'' ,max}$	8910 A
Maximaler symmetrischer Kurzschlussstrom	$I_{b,max}$	6300 A
Maximaler Dauerkurzschlussstrom	$I_{k,max}$	6300 A

Die Leistungsgradienten sind während des Betriebs variabel und die maximale Anstiegsrate ist entsprechend den Anforderungen standortspezifisch einstellbar. Die FRT-Fähigkeit wird in [9] beschrieben.

#### 4.2. Schaltpläne

Ein allgemeiner Überblick [10], für die Gondel [11], den Rotor/die Nabe [12] und dem Turm [13] wurden eingereicht.

Detaillierte Schaltpläne für den o.g. Abschnitt finden Sie unter [14] - [37].

Dazu gehören auch Varianten zum Beispiel mit [14] oder ohne Blattheizung [15]. Die Schaltpläne spiegeln die Teile wider, die für die gewählte Option benötigt werden.

#### 4.3. Niederspannungs-Installation

Für das Niederspannungsnetz wurden Berechnungen der Lichtbogenenergie, eine Lastanalyse für den NS-Stromkreis, Kurzschlussanalysen [39] - [42] und die Daten des Hilfstransformators [38], [43] - [44] eingereicht. Die Berechnungen zeigen die Konformität für die geforderten Abschaltzeiten und den Überlastschutz der Anlage.

#### 4.4. Energiespeicher WEA

Die Enercon Windenergieanlagen sind mit einem Energiespeichersystem für z.B. die Anlagensteuerung, das MS-Schutzrelais und weitere Systeme nach einer Prioritätenliste ausgestattet. Dieses System unterstützt die Windenergieanlage während eines FRT- oder eines Netzausfalls. Die Spezifikation des Systems wurde in Dokument [45] vorgelegt.



#### 4.5. Generator

Der Generator E-175 EP5 (E-175 EP5-GE-01) ist ein Permanentmagnet-Synchrongenerator mit Luftkühlung.

Der Generator ist an einen Vollumrichter gekoppelt und nicht an das Netz angeschlossen. Daher sind Oberschwingungen und andere netzbezogene Anforderungen nicht anwendbar [51].

Datenblatt [49], Test-Spezifikation [50], Schaltpläne [46] - [48] und Simulationen [52] wurden eingereicht.

Aufgrund der Einschränkungen des Prüfstandes wird ein Erwärmungslauf in Kombination mit einem Umrichter auf der Prototypanlage durchgeführt.

Die projektierten Daten sind:

Nennleistung	Pn 6245kW
Scheinleistung	Sn 7729 kVA
Nennspannung	Un 766.6 V
Nennstrom	In 363.6 A
Erregung	Permanent Magnet
Leerlaufspannung	E0 723 V
Nenndrehzahl	8.75 rpm <-> Rückwärtsrichtung nur im Leerlauf
Nennfrequenz	fn 12.833 Hz
Leistungsfaktor	cos (φ)n 0.808
Umgebungstemperatur	-15 °C to 20 °C for S1
Arbeitszyklus	S1 / S9
Gesamtmasse	125000 kg
Phasenanschluss	8 x Y; 8 x Y (30 Grad phasenverschoben)
Isolationsklasse	H
IP Klasse:	IP54
IC Klasse	IC0A0 / IC0A6
Höhe	≤ 2000 m

Die Dokumente wurden nach der IEC-Norm 60034-1 bewertet.

Die Ergebnisse der Typprüfung sind ausstehend. Für die Bewertung wurden Berichte an die Zertifizierungsstelle übermittelt.

#### E-Brake

Der Generator ist mit einer "E-Brake" (elektrischen Bremse) ausgestattet, um zu verhindern, dass sich der Rotor mit sehr niedriger Drehzahl dreht. Die Statorwicklungen werden kurzgeschlossen, um ein sehr hohes Bremsmoment bei niedriger Drehzahl zu erzeugen.

#### 4.6. Umrichter

Der Umrichter Typ Powerboost-Converter - PBC STD für die E-175 EP5 ist ein „Vollumrichter“ mit IGBT-Leistungsmodulen, der an den Stator des Generators angeschlossen wird. Der Hauptumrichter besteht aus 4 Powerboost-Converter - PBC STD Modulen [57]. Das Umrichtermodul Powerboost-Converter - PBC STD wurde vom TÜV NORD bewertet [57], [62].

Spezifikationen und Prüfstandsspezifikation [54], [61], Datenblatt [55] und Zeichnungen [58] - [60] wurden eingereicht.

Die Konformitätserklärung [56] für den Umrichter wird zusammen mit der zugehörigen Prüfdokumentation ausgestellt.



Die FRT-Grenzkurven des Umrichtersystems sind in [9] beschrieben. Die Grenzkurve ist so ausgelegt, dass verschiedene Grid-Codes (Netzanschlussbedingungen) erfüllt werden können. Der Umrichter stellt Blindleistung mit einem Leistungsfaktor von 1 bis 0 (mit Derating) zur Verfügung.

Das Design ist für 50/60Hz geeignet.

#### Technische Daten generatorseitig: Ein Modul

Nennstrom	1600 A	(x4 für E-175 EP5 =6400 A)
Nennspannung	0 bis 800 VAC	
Elektrische Nennfrequenz	>10.5 Hz für Nennwerte	
Leistungsfaktor	0.75 bis 0.9	
Maximum dV/dt	1.4 kV/ $\mu$ s	(Phase zu PE)

#### Technisches Daten netzseitig: Ein Modul

Nennstrom	1500 A	(x4 für E-175 EP5 = 6000 A)
Nennspannung	750 VAC $\pm$ 15% ( $\pm$ 20% für 60 s)	
Elektrische Nennfrequenz	50 Hz $\pm$ 3 Hz	
	60 Hz -4,5 Hz / +3 Hz	
Leistungsfaktor	0 to 1 (Derating für <0.85 möglich)	
Fähigkeit zum Schalten von Kurzschlussströmen	Keine (in externem Schaltmittel zu realisieren)	

#### Chopper

Maximale Energiefähigkeit	5564 kJ
Betriebsspannung	0 to 1400 VDC
Kühlung	Luftgekühlt (zwangsgesüht mit Versorgungsspannung, Konvektion ohne Versorgungsspannung)

#### Weitere Auslegungsparameter

Richtlinie	2014/35/EU
Standard	EN 62477-1:2012
IP Klasse	IP20 nach der Installation
Ausrüstung	class I
Kategorie Überspannung	III
Lebensdauer des Designs	25 Jahre
Verschmutzungsgrad	3
Installationshöhe	$\leq$ 2000 m (Sonstige mit Derating möglich)
Umgebungstemperatur	-30°C bis 45°C (während des Betriebs, andere mit Derating oder Vorheizen)
Lagertemperatur	-40°C bis 70°C
Kühlflüssigkeit	45-50% Ethylen-Glycol / 50-55% Wasser
Volumenstrom Flüssigkeit	90 l/min
Volumenstrom Luft	660 m <sup>3</sup> /h



#### 4.7. Transformator

Die für die E-175 Windkraftanlage spezifizierten Transformatoren sind flüssigkeitsgekühlt. Die Transformatoren werden in der Gondel montiert. Die Spezifikation [63] und Prüfanforderungen [64] wurden eingereicht.

Sie decken die folgenden technischen Parameter ab.

Typ:	Ester-Leistungstransformator Hermetikausführung wahlweise OLTC
Nennleistung [kVA]:	7100
Nennspannung (HV):	10 kV – 40.5 kV
Nennspannung (LV) [kV]:	0.75
Frequenz:	50 / 60 Hz
Vektor-Gruppe:	Dyn 5
Art der Kühlung:	KFWF
Nennstrom LV [A]:	5042
Kurzschluss-Impedanz:	9% ±10% / 9% ±10% (6.X)
Max. Höhe:	1000 m

Leerlaufstufenschalter sind als Standardausführung mit 5 Stufen auf der HV-Seite erhältlich (+4x 2.5% / ± 2x2.5%).

#### J. Schneider

Für den von J. Schneider hergestellten Transformator sind die Unterlagen [65] - [70] übermittelt worden.

Die Typprüfungen nach IEC 60076-1 wurden mit dem ersten hergestellten Transformator durchgeführt. Die Ergebnisse für den Temperaturanstiegstest, den Kurzschlussstest, den Teilentladungstest und den Vibrationstest wurden vorgestellt. Der Transformator hat die Typprüfung nach IEC 60076 erfolgreich bestanden.

#### SGB

Für den von SGB hergestellten Transformator sind die Unterlagen [72] - [74] übermittelt worden. Die Bewertung ist vorläufig. Die Typprüfungen nach IEC 60076-1 müssen mit dem ersten gefertigten Transformator durchgeführt werden. Die Ergebnisse für den Temperaturanstiegstest, den Kurzschlussstest und den Vibrationstest müssen vorgelegt werden. Die Konformitätserklärung liegt vor.

#### Siemens

Für den von Siemens hergestellten Transformator sind die Unterlagen [75] - [83] übermittelt worden.

Die Typprüfungen nach IEC 60076-1 wurden mit dem ersten hergestellten Transformator durchgeführt. Die Ergebnisse für den Temperaturanstiegstest, den Kurzschlussstest, den Teilentladungstest und den Vibrationstest wurden vorgestellt. Der Transformator hat die Typprüfung nach IEC 60076 erfolgreich bestanden.

#### 4.8. Mittelspannungsschaltanlagen

Die Auswahl der Mittelspannungsschaltanlagen ist projektspezifisch. Daher ist keine Mittelspannungsschaltanlage als Teil der Windkraftanlage ausgewiesen.

Technische Spezifikationen für Mittelspannungsschaltanlagen wurden eingereicht [85] - [88].

Das Lastenheft enthält Prüfungen, Dimensionierungsanforderungen und Schutzeinstellungen für die Mittelspannungsschaltanlage.



Bei den eingesetzten Schaltanlagen handelt es sich um typgeprüfte standardisierte Schaltanlagen nach der Normenreihe IEC 62271. Gemäß den Anforderungen von OD 501-7 wurde die Auswirkung einer Druckentlastung während eines Lichtbogens in [84] berechnet und ausgewiesen.

### **Siemens**

Für die 8DJH-Schaltanlage sind die Datenblätter [89] - [93] einschließlich Konformitätserklärung und Baumusterprüfung vorgelegt worden.

## **4.9. Elektrische Antriebe**

### **4.9.1 Azimut Motor**

Für den Azimut Motor wurde die Spezifikation [94] übermittelt.  
Die Bewertung der Motoren erfolgt anhand von Stücklisten, Schaltplänen und Beschreibungen.  
Weitere Einzelheiten siehe Anhang.

### **Bonfiglioli**

Die eingereichten Unterlagen [95] - [98] enthalten die Datenblätter und die Konformitätserklärung.  
Die Antriebe werden nach der Normenreihe IEC 60034 gefertigt.

### **4.9.2 Azimut Umrichter**

Für den Azimut Umrichter wurde die Spezifikation [99] übermittelt.

### **Siemens**

Die eingereichten Unterlagen [100] - [104] enthalten die Datenblätter und die Konformitätserklärung.  
Der Umrichter wird nach der Normenreihe IEC 61800 gefertigt.

### **4.9.3 Pitch Motor**

Für den Pitchmotor wurde die Spezifikation [105] übermittelt.  
Die Bewertung der Motoren erfolgt anhand von Stücklisten, Schaltplänen und Beschreibungen.  
Weitere Einzelheiten siehe Anhang.

### **Bonfiglioli**

Die eingereichten Unterlagen [106] - [109] enthalten die Datenblätter und die Konformitätserklärung. Die Antriebe werden nach der Normenreihe IEC 60034 gefertigt.

### **4.9.4 Pitch Umrichter**

Für den Pitch Umrichter wurde die Spezifikation [110] übermittelt.

### **Keba LTI**

Die eingereichten Unterlagen [111] - [115] enthalten die Datenblätter und die Konformitätserklärung.  
Der Umrichter wird nach der Normenreihe IEC 61800 gefertigt.

## **4.10. Ladegeräte und Akkus**

Enercon Windkraftanlagen sind mit Ultrakondensatoren (Ultracaps) als Energiespeicher der Pitch-Antriebe ausgestattet. Typ und Verdrahtung sind in den Schaltplänen festgelegt.

Die Spezifikation [116] und Dimensionierungsberechnung [120] wurde übermittelt.



## Ladegeräte und Akkus

Für die Sech SA Ultrakondensatoren, das Konzept [117], Datenblatt [118] und Konformitätserklärung [119] wurden eingereicht.

Der Laderegler für die Ultracaps ist im Pitch-Umrichter integriert.

### 4.11. Blitzschutz

Das System zum Schutz vor den Auswirkungen von Blitzeinschlägen ist in [121] - [122] beschrieben.

Das Blitzschutzsystem (Lightning Protection System - LPS) der Windenergieanlage E-175 EP5 ist für die Blitzschutzklasse (Lightning Protection Level - LPL) 1 ausgelegt.

Die Umsetzung der technischen Beschreibung des internen Blitzschutzkonzeptes ist in den Schaltplänen ersichtlich.

In den Dokumenten [121] - [122] wird die elektrische Durchgängigkeit des Blitzstrompfades und der Erdung im Turm zum Erdungssystem für die verschiedenen Türme, namentlich Stahlrohrturm und Hybridturm, beschrieben.

Der Blitzschutz besteht aus:

- Rotorblättern mit Blitzrezeptor an der Blattspitze und Rezeptoren an der Druck – und Saugseite.
- Die Rotorblätter sind direkt an die Nabe angeschlossen.
- Der Rotor ist über das Rotorlager mit dem Hauptträger verbunden.
- Zwischen Gondel und Turm wird das Azimutlager als Blitzstrompfad genutzt.
- Blitzfangstäbe, Nabe, Maschinenträger und Turm sind im Blitzschutzpotentialausgleich enthalten.
- Fundament mit Erdung.

Eine Beschreibung für das Blitzschutzsystem [121] - [122] und einen Überblick über das Erdungssystem [142] wurden übermittelt. Das Blitzschutzsystem ist für eine Blitzschutzklasse 1 (LPL 1) ausgelegt.

Das LPS-Konzept der Windenergieanlage E-175 EP5 basiert auf dem LPS-Konzept der E-160 EP5 (außer Rotorblatt), das nach der Norm IEC 61400-24:2019 in [123] bewertet wurde.

Die Kabel werden beim Eintritt oder Austritt in eine Blitzschutzzone durch Überspannungsschutzvorrichtungen geschützt.

Die verschiedenen Blitzschutzzonen sind in [121] - [122] beschrieben.

### Rotorblätter

Das Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-175 EP5-RB-01 ist in der Technischen Beschreibung [124] dargestellt und übermittelt.

Für das Rotorblatt E-175 EP5-RB-01 wurde die Blitzschutztestspezifikation [133], [134] übermittelt. Es wurden Hochstromtests an der Blattspitze und den Komponenten des Blitzstrompfades durchgeführt [125] - [132], [135] - [141].

Die Komponenten erfüllen die Anforderungen der IEC 61400-24.

Die Hochspannungsprüfungen werden gemäß der Spezifikation durchgeführt [133].

Die Bewertung des Rotorblatt Blitzschutzes (LPS) ist vorläufig, bis die Prüfberichte der erfolgreichen Hochspannungsprüfungen von der Zertifizierungsstelle bewertet wurden.

TÜV SÜD bestätigt Konformität des Blitzschutzes mit /4/.



#### 4.12. Erdungssystem

Die Standortbedingungen für das Erdungssystem werden von der ENERCON Global GmbH festgelegt [145], [146]. Für jeden Standort wird eine individuelle Erdungsanalyse durchgeführt, mit deren Hilfe festgestellt wird, ob die Anforderungen durch das Erdungssystem erfüllt werden. Wenn die Umgebungsbedingungen zusätzliche Maßnahmen über das normale Erdungssystem erfordern, werden diese entsprechend umgesetzt, siehe [145], [146].

Anforderungen und Messungen für die Sicherheit bezüglich Schritt- und Berührungsspannung sind Bestandteil der Dokumente [145], [146].

Zeichnungen mit der Übersicht des Erdungssystems [142], Potentialausgleich für Nabe und Gondel [143], [144] und Designpläne des Fundaments inkl. Erdungssystem [147] - [153] wurden übermittelt.

#### 4.13. Kabel und Schleifringe

##### Kabel

Mittelspannungskabel sind projektspezifische Komponenten, denn die Auswahl des richtigen Kabeltyps ist abhängig von der Netzspannungsebene.

Eine Spezifikation für das Mittelspannungskabel [154], [155], [160] für Turm und Gondel wurden eingereicht. Datenblätter für das Gondelkabel [156] - [159] und Turmkabel [161] wurden eingereicht. Die Kabel sind ausreichend und erfüllen die Anforderungen.

##### Schleifringe

Die Schleifringpezifikationen [162] - [163] wurde übermittelt.

Der Schleifring sorgt für die Daten- und Stromübertragung zwischen Gondel und Nabe.

Die Datenübertragung erfolgt über eine faseroptische Drehdurchführung. Die Anzahl der Stromübertragungen (Spannungsebene) variiert je nach den verwendeten Optionen in Kombination mit der Nabe / den Rotorblättern.

##### Enercon

Die für den Schleifring eingereichten Unterlagen [165] - [169], enthalten Datenblätter und elektrische Zeichnungen.

Technische Daten:

	SAP1077319	SAP1077390
Betriebstemperatur	-40 to +50 °C	-40 to +50 °C
Drehzahl	6-10 rpm	6-10 rpm
Maximaldrehzahl	15 rpm	15 rpm
Höhe	≤ 3000 m	≤ 3000 m
Stromversorgung Blade Heating	750 VAC ± 20% / 260A	-
Stromversorgung Pitch	400 VAC ± 20% / 60A	400 VAC ± 20% / 60A
PE System	1	1
Signal 1	230 VAC / 10A	230 VAC / 10A
Signal 2	24 VDC /16A	24 VDC /16A
Signal PE	1	1
Optischer Kanal	1 (Bidirektionaler Betrieb)	1 (Bidirektionaler Betrieb)
Fasertyp	Multimode 62,5/125µm	Multimode 62,5/125µm
Wellenlänge	1270...1610 nm	1270...1610 nm



## **5. Ergebnis der Evaluierung**

Die elektrischen Komponenten und der Blitzschutz der Windenergieanlagen des Typs Enercon E-175 EP5 entsprechen den in Kapitel 2 aufgeführten Bewertungsgrundlagen.

## **6. Bedingungen**

*Folgende Bedingungen sind zu beachten:*

- 1. Nicht notifizierte Änderungen am Blitzschutz oder an den elektrischen Bauteilen führen zur Ungültigkeit dieses Berichtes.*
- 2. Die Ergebnisse der Typen Tests für den Generator sind ausstehend und der Zertifizierungsstelle vorzulegen.*
- 3. Die Bewertung des SGB-Transformators erfolgt vorläufig, bis die Ergebnisse der Typprüfung bei der Zertifizierungsstelle eingereicht wurden.*
- 4. Die Ergebnisse der Typprüfung des Rotorblatt-LPS sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen.*

Der Leiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'C. Gatz'.

C. Gatz

Der Sachverständige

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'B. Ebsen'.

B. Ebsen



## **Annex: Bewertete Komponenten für Enercon E-175 EP5**

### **Generator (Enercon) Typ E-175 EP5-GE-01**

#### **Generelle Auslegungsdaten**

Nennleistung:	Pn 6245kW
Scheinleistung:	Sn 7729 kVA
Nennspannung:	Un 766.6 V
Nennstrom:	In 363.6 A
Erregung:	Permanent Magnet
Leerlaufspannung:	E0 723 V
Nenndrehzahl:	8.75 rpm <-> in Rückwärtsrichtung nur Leerlauf
Nennfrequenz:	fn 12.833 Hz
Leistungsfaktor:	cos ( $\phi$ )n 0.808
Umgebungstemperatur:	-15 °C to 20 °C for S1
Arbeitszyklus:	S1 / S9
Gesamtmasse:	125000 kg
Phasenanschluss:	8 x Y; 8 x Y (30 Grad phasenverschoben)
Isolationsklasse:	H
IP Klasse:	IP54
IC Klasse:	IC0A0 / IC0A6
Höhe:	≤ 2000 m

### **Umrichter (Enercon) Typ Powerboost PBC-STD**

#### Technische Daten generatorseitig: Ein Modul

Nennstrom:	1600 A (x4 für E-175 EP5 = 6400 A)
Nennspannung:	0 to 800 VAC
Elektrische Nennfrequenz:	>10.5 Hz für Nennwerte
Leistungsfaktor:	0.75 to 0.9
Maximum dV/dt:	1.4 kV/ $\mu$ s (Phase zu PE)

#### Technisches Daten netzseitig: Ein Modul

Nennstrom:	1500 A (x4 für E-175 EP5 = 6000 A)
Nennspannung:	750 VAC $\pm$ 15% ( $\pm$ 20% for 60 s)
Elektrische Nennfrequenz:	50 Hz $\pm$ 3 Hz 60 Hz -4,5 Hz / +3 Hz
Leistungsfaktor:	0 to 1 (Derating für <0.85 möglich)
Fähigkeit zum Schalten von Kurzschlussströmen:	Keine (in externem Schaltmittel zu realisieren)

#### Chopper

Maximale Energiefähigkeit:	5564 kJ
Betriebsspannung:	0 to 1400 VDC
Kühlung:	Luftgekühlt (zwangsgesüht mit Versorgungsspannung, Konvektion ohne Versorgungsspannung)



## Weitere Auslegungsparameter

Richtlinie:	2014/35/EU
Standard:	EN 62477-1:2012
IP Klasse:	IP20 nach der Installation
Ausrüstung:	class I
Kategorie Überspannung:	III
Lebensdauer des Designs:	25 Jahre
Verschmutzungsgrad:	3
Installationshöhe:	≤2000 m (Sonstige mit Derating möglich)
Umgebungstemperatur:	-30°C bis 45°C (während des Betriebs, andere mit Derating oder Vorheizen)
Lagertemperatur:	-40°C bis 70°C
Kühlflüssigkeit:	45-50% Ethylen-Glycol / 50-55% Wasser
Volumenstrom Flüssigkeit:	90 l/min
Volumenstrom Luft:	660 m³/h

## Transformator

Hersteller:	J. Schneider
Typ:	HBNM 7100A-2316T03001
Design:	Ester-Leistungstransformator Hermetikausführung
Nennleistung:	7100 kVA
Nennspannung (HV):	15 kV
Nennspannung (LV):	0.75 kV
Anzapfungen HV:	+4 x 375 V
Nennstrom (HV):	274 - 249 A
Nennstrom (LV):	5466 A
Frequenz:	50 Hz (47,5-52Hz)
Vektorgruppe:	Dyn 5
Kurzschlussspannung:	9,00 %
Hersteller:	SGB
Typ:	DST 7100 H/20
Design:	Ester-Leistungstransformator Hermetikausführung
Nennleistung:	7100 kVA
Nennspannung (HV):	20 kV
Nennspannung (LV):	0.75 kV
Anzapfungen HV:	+4 x 500 V
Nennstrom (HV):	205 A
Nennstrom (LV):	5466 A
Frequenz:	50 Hz
Vektorgruppe:	Dyn 5
Kurzschlussspannung bei 75°:	9,00 %



Hersteller:	Siemens
Typ:	TDU-743A03W6A-TU
Design:	Ester-Leistungstransformator Hermetikausführung
Nennleistung:	7400 kVA
Nennspannung (HV):	36 kV
Nennspannung (LV):	0.75 kV
Anzapfungen HV:	± 2x 2,5%
Nennstrom (HV):	119,5 A
Nennstrom (LV):	5697 A
Frequenz:	50 Hz
Vektorgruppe:	Dyn 5
Kurzschlussspannung:	8,00% - 9,00 %

### **Mittelspannungs-Schaltanlagen**

Hersteller:	Siemens AG
Typ:	8DJH
Design:	SF6 GIS
Nennspannung:	24 kV
Nennstrom:	630 A
Frequenz:	50/60 Hz
Schutzart:	IP 2X (operating panel) / IP 65 (tank)

### **Elektrische Antriebe**

#### Azimut Motor

Hersteller:	Bonfiglioli
Typ:	JB00023132
Motortyp:	Permanent Magnet Synchron Motor
Leistung:	8.38 kW
Nennspannung:	420 V
Nennstrom:	13.1 A
Nennfrequenz:	100 Hz

#### Azimut Umrichter

Hersteller:	Siemens
Typ:	Simantic
Modell:	6SL3100-0BE28-0AB0 6SL 6SL3130-7TE28-0AA3 6SL3120-2TE21-8AD0 6SL3400-1AE31-0AA1
Nennspannung:	380...480V



### Pitch Motor

Hersteller:	Bonfiglioli
Typ:	JB00029516
Motortyp:	Permanent Magnet Synchron Motor
Leistung:	5.65 kW
Nennspannung:	220 V
Nennfrequenz:	50 Hz

### Pitch Umrichter

Hersteller:	Keba LTI
Typ:	Pitch One
Nennleistung:	9 kW
Nennspannung:	400 VAC
Frequenz:	50 Hz / 60 Hz
Ausgang:	
Maximale Leistung:	57 kVA
Nennspannung:	0 - 380 VAC(Netzeinspeisung) 0 - 510V (Versorgung durch Energiespeicher)
Nennstrom:	15 - 20 A