

Zusammenstellung der typengeprüften Dokumentationen

ENERCON

E-115 EP3-E3-HT-135-ES-C-01

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

Rev. 0

1 Prüfbescheid zur Typenprüfung T-7016/20 Rev. 0 vom 19.03.2021**2 Hybridturm T-7016/20 - 1 Rev. 0 vom 19.03.2021****2.1 Zusammenstellung Turm Statik D0836461-4****3 Tiefgründung mit Auftrieb \varnothing 18,80 m
T-7016/20 - 2 Rev. 0 vom 19.03.2021****3.1 Schalplan Variante A D0837312-2****3.2 Schalplan Variante B D0837313-2****3.3 Schalplan Variante C D0837314-2****3.4 Schalplan Variante D D0837315-2****3.5 Bewehrungsplan 1 D0837320-2****3.6 Bewehrungsplan 2 D0837321-2****3.7 Bewehrungsplan 3 Variante 1 D0837322-2****3.8 Bewehrungsplan 3 Variante 2 D0837323-2****3.9 Fundamentdatenblatt D0870410-4****4 Flachgründung mit Auftrieb \varnothing 20,20 m
T-7016/20 - 3 Rev. 0 vom 19.03.2021****4.1 Schalplan D0837348-1**

4.2 Bewehrungsplan 1	D0837237-3
4.3 Bewehrungsplan 2	D0837238-2
4.4 Bewehrungsplan 3 Variante 1	D0837239-1
4.5 Bewehrungsplan 3 Variante 2	D0837240-1
4.6 Fundamentdatenblatt	D0870411-4

5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen

5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament	8116503696-1 D II Rev.2 vom
03.07.2020	
5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau	8116503696-1 D III Rev.
2 vom 20.07.2020	
5.3 Sicherheitssystem und Handbücher	8116503696-2 D Rev.3 vom
16.11.2020	
5.4 Elektrische Komponenten und Blitzschutz	8116503696-5 D Rev.2 vom
19.02.2021	
5.5 Rotorblatt	8116503696-3 D Rev. 1 vom 13.01.2021
5.6 Maschinenbauliche Komponenten	8116503696-4 D Rev.1 vom 24.11.2020
5.7 Verkleidungen & Strukturen	8116503696- 12 D Rev.2 vom 27.11.2020
5.8 Turmkopfflansch	8116503696-11 D Re.1 vom 31.08.2020

6 Revisionstabelle

Datum	Änderung
05.05.2021 Rev. 0	Dokument erstellt 1 Prüfbescheid zur Typenprüfung 2 Hybridturm T-7016/20 - 1 Rev. 0 vom 19.03.2021 2.1 Übersicht Turm D0836461-4 3 Tiefgründung mit Auftrieb 18,80 m T-7016/20 - 2 Rev. 0 vom 19.03.2021 3.1 Schalplan Variante A D0837312-2 3.2 Schalplan Variante B D0837313-2 3.3 Schalplan Variante C D0837314-2 3.4 Schalplan Variante D D0837315-2 3.5 Bewehrungsplan 1 D0837320-2 3.6 Bewehrungsplan 2 D0837321-2 3.7 Bewehrungsplan 3 Variante 1 D0837322-2 3.8 Bewehrungsplan 3 Variante 2 D0837323-2 3.9 Fundamentdatenblatt D0870410-4 4 Flachgründung mit Auftrieb 20,20 m T-7016/20 - 3 Rev. 0 vom 19.03.2021 4.1 Schalplan D0837348-1 4.2 Bewehrungsplan 1 D0837237-3 4.3 Bewehrungsplan 2 D0837238-2 4.4 Bewehrungsplan 3 Variante 1 D0837239-1 4.5 Bewehrungsplan 3 Variante 2 D0837240-1 4.6 Fundamentdatenblatt D0870411-4 5 Zusammenstellung der Gutachtlichen Stellungnahmen 5.1 Lastannahmen für Turm und Fundament 8116503696-1 D II Rev.2 vom 03.07.2020 5.2 Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau 8116503696-1 D III Rev. 2 vom 20.07.2020 5.3 Sicherheitssystem und Handbücher 8116503696-2 D Rev.3 vom 16.11.2020 5.4 Elektrische Komponenten und Blitzschutz 8116503696-5 D Rev.2 vom 19.02.2021 5.5 Rotorblatt 8116503696-3 D Rev. 1 vom 13.01.2021 5.6 Maschinenbauliche Komponenten 8116503696-4 D Rev.1 vom 24.11.2020 5.7 Verkleidungen & Strukturen 8116503696-12 D Rev.2 vom 27.11.2020 5.8 Turmkopfflansch 8116503696-11 D Re.1 vom 31.08.2020

Essen, 19.03.2021

Prüfbescheid zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03,
Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01,
DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II**

Prüfbescheid Nr.:	T-7016/20 Rev. 0
Typenentwurf:	Hybridturm und Fundamente für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Antragsteller (Antragsteller):	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Geltungsdauer bis:	31.03.2026

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

Der Prüfbescheid umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	19.03.2021	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Bestimmungen	3
2	Einleitung	3
3	Prüfgrundlagen	3
4	Dokumente	4
4.1	Anlagen zum Prüfbescheid	4
4.2	Prüfbericht zur Typenprüfung	4
4.3	Dazugehörige Dokumente	4
4.4	Gutachtliche Stellungnahmen	5
5	Beschreibung	6
5.1	Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01	6
5.2	Tiefgründung mit Auftrieb	7
5.3	Flachgründung mit Auftrieb	7
6	Umfang der Prüfung	7
7	Baustoffe	8
8	Bemerkungen	8
9	Auflagen	9
10	Zusammenfassung	9

1 Allgemeine Bestimmungen

Diese Typenprüfung entbindet die Bauaufsichtsbehörde zwar von der Verpflichtung zur nochmaligen Prüfung in statischer Hinsicht, nicht jedoch von der Verpflichtung zu überwachen, ob die Bauausführung mit diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung und seinen unter Punkt 4 aufgeführten Prüfberichten zur Typenprüfung übereinstimmt.

Bei Abweichungen von diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung oder seinen unter Punkt 4 aufgeführten Prüfberichten zur Typenprüfung ist die Standsicherheit im Einzelfall nachzuweisen und zu prüfen.

Der Prüfbescheid ersetzt nicht die Bestätigung des Auflagenvollzugs. Des Weiteren ersetzt er keine für die Durchführung von Bauvorhaben erforderlichen Genehmigungen.

Diese Typenprüfung darf nur vollständig und nicht in Auszügen verwendet oder veröffentlicht werden.

Dieser Prüfbescheid gilt nur in Verbindung mit den unter Punkt 4 genannten Prüfberichten zur Typenprüfung und gutachtlichen Stellungnahmen.

Zur Verlängerung der Geltungsdauer dieses Prüfbescheids zur Typenprüfung ist ein Antrag erforderlich.

Das Recht auf vorzeitigen Widerruf bleibt dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH vorbehalten.

2 Einleitung

Gegenstand dieses Prüfbescheids ist die Typenprüfung des Hybridturms E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 und der dazugehörigen Fundamente, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurden.

3 Prüfgrundlagen

- [3.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt:
"Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung", korrigierte Fassung, 03.2015
- [3.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
"Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010"

Ferner gelten die in den Prüfberichten zur Typenprüfung genannten Prüfgrundlagen.

4 Dokumente

4.1 Anlagen zum Prüfbescheid

Folgende Anlagen beschreiben die Windenergieanlage dieser Typenprüfung:

Anlage Nr. 1 ENERCON GmbH:
„Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3“, Dokument Nr.: D0724970-4, Rev. 4, Datum: 27.01.2020

Anlage Nr. 2 ENERCON GmbH:
„Ansichtszeichnung Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01“, Dokument-Nr.: EP3.00.143 - 6, Rev. 6, Datum: 30.01.2020

4.2 Prüfbericht zur Typenprüfung

[4.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03, DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II, - Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 -“, Prüfbericht Nr.: T-7016/20-1 Rev. 0, Datum: 19.03.2021

[4.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03, Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01, DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II, - Tiefgründung mit Auftrieb, D=18,80 m -“, Prüfbericht Nr.: T-7016/20-2 Rev. 0, Datum: 19.03.2021

[4.2.3] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03, Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01, DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II, - Flachgründung mit Auftrieb, D=20,20 m -“, Prüfbericht Nr.: T-7016/20-3 Rev. 0, Datum: 19.03.2021

4.3 Dazugehörige Dokumente

[4.3.1] ENERCON GmbH:
„Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3 Rev. 1“, Dokument Nr.: D0832892-1, Rev. 1, Datum: 04.11.2019

[4.3.2] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Turm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Turm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA der WEA E-115 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 nach DIBt und IEC“, Dokument-Nr.: D0841671-0a, Rev. 0a, Datum: 29.06.2020

[4.3.3] ENERCON GmbH:
„Stellungnahme Lastensimulation Drehzahlbereiche“, Dokument Nr.: D0884211-0, Rev. 0, Datum: 18.10.2019

[4.3.4] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Maschinenbau E-115 EP3 E3 Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Maschinenbau E-115 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 nach DIBt und IEC“,
Dokument Nr.: D0942936-0a, Rev. 0a, Datum: 29.06.2020

[4.3.5] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 Abdeckende Lasten für das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 mit dem Maschinenbau E-115 EP3 E3 nach DIBt und IEC“,
Dokument Nr.: D0942935-0a, Rev. 0a, Datum: 29.06.2020

4.4 Gutachtliche Stellungnahmen

[4.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3 RB E-115 EP3-RB-03, NH 135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01) DIBt WZ 3, GK I&II - Lastannahmen Turm und Fundament -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D II Rev.2, Datum: 03.07.2020

[4.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D III Rev.2, Datum: 20.07.2020

[4.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage ENERCON E-115 EP3 E3 nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012) - Sicherheitssystem und Handbücher-",
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 503 696-2 D Rev. 3, Datum: 16.11.2020

[4.4.4] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage E-115 EP3 E3 unterschiedliche Konfigurationen und Nabhöhen - Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-3 D, Rev. 1, Datum: 13.01.2021

[4.4.5] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen ENERCON E-115 EP3 E3 - Maschinenbauliche Komponenten -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-4 D Rev. 1, Datum: 24.11.2020

[4.4.6] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2 - Verkleidungen & Strukturen -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-12 D Rev. 2, Datum: 27.11.2020

[4.4.7] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme ENERCON E-115 EP3 E3
- Elektrische Komponenten und Blitzschutz -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-5 D Rev. 2, Datum: 19.02.2021

[4.4.8] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotor-
blatt E-115 EP3-RB-03, verschiedene Konfigurationen - Turmkopfflansch -“,
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 503 696-11 D Rev. 1, Datum: 31.08.2020

5 Beschreibung

5.1 Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01

Der Turm hat eine Höhe von 130,615 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus einem vorgespannten Betonfertigteilturm und einem Stahlteil. Der Außendurchmesser des Betonturms am Turmfuß beträgt 8,429 m. Der Kopfflansch des Stahlteils zur Aufnahme der Anlage hat einen Außendurchmesser von 3,557 m.

Der Betonturm hat einen Kreisringquerschnitt mit einem nach oben hin abnehmenden Durchmesser. Der Betonturm ist über die Höhe in mehrere Segmente aufgeteilt. Am oberen Ende befindet sich ein Betonadapter zur Verbindung mit dem Stahlteil.

Die Segmente bestehen aus werksmäßig hergestellten Stahlbetonfertigteilen. Die unteren Segmente werden dabei aus zwei Schalenelementen zusammengefügt, während die oberen Segmente und der Betonadapter aus einem Stück hergestellt sind.

Die horizontale Fuge zwischen den Betonsegmenten kann entweder als Verbundfuge mit Kunstharzmörtel als Füllmaterial oder alternativ als verbundlose Systemfuge ausgeführt werden.

Die Teilschalen werden in den vertikalen Fugen durch einbetonierte Schraubkästen und vorgespannte Schrauben verbunden.

Der Betonturm ist auf einer Mörtelschicht auf dem Fundament gebettet und wird mit externen Spanngliedern ohne Verbund vorgespannt. Die Spannstelle befindet sich dabei im Spannkeller des Fundaments.

Am oberen Ende dient der Fußflansch des Stahlteils als Widerlager für die Spannglieder.

Der Stahlteil besteht aus einer werksseitig geschweißten Stahlblechkonstruktion. Die Stahlsektionen werden mittels vorgespannter L-Ringflanschverbindungen auf der Baustelle zusammenschraubt.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Maximale Nennleistung	Rotorblatt	Rotor- Ø	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Gondelmasse
1	E-115 EP3 E3	135,0 m	4200 kW	E-115 EP3-RB-03 ^a	116,028 m ^b	WZ 3	GK I u. II	237,578 t

Tabelle 5.1: Geprüfte Konfiguration für Turmnachweise

- a) Die Rotorblätter sind mit Hinterkantenkämmen (Serrations), Vortexgeneratoren (VG) und Blattspitzen (Blade Tips) ausgestattet. Diese zusätzlichen Anbauteile sind lastseitig erfasst (siehe [4.4.1] und [4.4.2]) und deren strukturelle Integrität und Verklebung mit dem Rotorblatt in [4.4.4] geprüft.
- b) Den Lastberechnungen (siehe [4.3.2] bis [4.3.5]) wurde konservativ der nominal größere Rotordurchmesser 116,028 m zugrunde gelegt. Der projizierte Rotordurchmesser - unter Berücksichtigung des Konuswinkels und der Blattbiegung - beträgt jedoch 115,710 m (siehe Anlage Nr. 2).

5.2 Tiefgründung mit Auftrieb

Das Kreisringfundament weist einen Außendurchmesser von 18,80 m auf und ist für die folgenden Pfahlvarianten ausgelegt:

Variante A: 48 Fertigteiltrammpfähle mit 45/45 cm

Variante B: 39 Ortbetonrammpfähle mit Ø 51 cm

Variante C: 33 Ortbetonrammpfähle mit Ø 56 cm

Variante D: 16 Bohrpfähle mit Ø 100 cm

Unterhalb des Sockelbereichs befindet sich eine statisch erforderliche, kreisförmige Bodenplatte.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Bei der Prüfung der Tiefgründung mit Auftrieb wurde die gleiche Anlagenkonfiguration wie bei der Turmprüfung berücksichtigt.

5.3 Flachgründung mit Auftrieb

Das Kreisringfundament weist einen Außendurchmesser von 20,20 m auf. Unterhalb des Sockelbereichs befindet sich eine statisch erforderliche, kreisförmige Bodenplatte.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Bei der Prüfung der Flachgründung mit Auftrieb wurde die gleiche Anlagenkonfiguration wie bei der Turmprüfung berücksichtigt.

6 Umfang der Prüfung

Die bautechnische Prüfung umfasst den Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 und die Gründungen.

Darüber hinaus wurde die Konformität mit dem Turmmodell aus der Lastrechnung hinsichtlich folgender Punkte überprüft:

- zulässiger Turmeigenfrequenzbereich gemäß [4.4.1]
- Turmaußenabmessungen hinsichtlich des verbleibenden Freigangs bei durchgebogenen Rotorblättern

Der Turmkopfflansch, die Schweißnahtverbindung mit dem Turm und die Schraubverbindung mit dem Azimutlager wurden in [4.4.8] geprüft.

Lageplan und Baugrundgutachten (s. [3.1], Kapitel 3, Buchstaben B und H) sind nicht Bestandteil der Prüfung, Transportzustände ebenfalls nicht.

Die angesetzten Lasten aus der Windturbine werden in den gutachtlichen Stellungnahmen [4.4.1] und [4.4.2] bestätigt.

Die Bewertung der Sicherheitseinrichtungen und Handbücher, des Rotorblatts, der maschinenbaulichen Komponenten, der Verkleidung von Maschinenhaus und Nabe sowie der elektrotechnischen Komponenten und des Blitzschutzes erfolgt in den gutachtlichen Stellungnahmen [4.4.3] bis [4.4.7].

Die geprüften Dokumente zum Hybridturm und zu den Gründungen sind jeweils im Abschnitt 1.1 der Prüfberichte zur Typenprüfung aufgelistet.

7 Baustoffe

Die Auflistung der Baustoffe erfolgt jeweils im Abschnitt 4.3 der Prüfberichte zur Typenprüfung.

8 Bemerkungen

- 8.1 Eine gutachtliche Stellungnahme eines Sachverständigen zu den Nachweisen der Turmeinbauten (z.B. Arbeitsbühnen, Leitern oder Befahrenrichtungen) sowie der zugehörigen Schweißanschlüsse und Verankerungen ist gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I, nicht erforderlich und dementsprechend auch nicht Gegenstand dieser Typenprüfung.
- 8.2 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 8.3 Die Anforderungen der in dem jeweiligen Bundesland geltenden Landesbauordnung sind zu beachten.
- 8.4 Etwaige Schäden an den in Betrieb genommenen Windenergieanlagen, wie z.B. unzulässige Risse, und daraus abgeleitete Reparatur- bzw. Sanierungsmaßnahmen sind dem Prüfamf für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen.

- 8.5 Ist nach Ablauf der rechnerisch zugrunde gelegten Lebensdauer von 25 Jahren ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage geplant, so ist hierzu Kapitel 17 der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

9 Auflagen

- 9.1 Die Anlage ist mit einem Eiserkennungssystem auszustatten, das einen Betrieb mit vereisten Rotorblättern ausschließt.
- 9.2 Die Auflagen im Abschnitt 6 der Prüfberichte zur Typenprüfung (s. Punkt 4.2) und die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen (s. Punkt 4.4) sind zu beachten. Die gutachtlichen Stellungnahmen sind zur Bauakte zu nehmen.
- 9.3 Der Anlagenhersteller hat mittels Erklärung zu bescheinigen, dass die Auflagen in den gutachtlichen Stellungnahmen erfüllt sind und dass die Windenergieanlage gemäß den geprüften Anlagen in den Prüfberichten zur Typenprüfung errichtet worden ist. Diese Herstellererklärung ist der Bauaufsichtsbehörde vorzulegen und zur Bauakte zu nehmen.
- 9.4 Alle Bescheinigungen und Protokolle sind vom Betreiber aufzubewahren und müssen auf Verlangen der zuständigen Baubehörde vorgelegt werden.
- 9.5 Eine Bescheinigung über die einwandfreie Beschaffenheit der gelieferten Rotorblätter (Werksprüfzeugnis) ist vorzulegen.
- 9.6 Gemäß der gutachtlichen Stellungnahme [4.4.3], Auflage 6.1, ist das Handbuch für die Turmmontage mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Nabenhöhen zu ergänzen. Diese Auflage ist für die Standsicherheit von Turm und Gründung nicht relevant, ist jedoch spätestens bis zur Errichtung der ersten Anlage zu erfüllen und mittels gutachtlicher Stellungnahme zu bewerten.
- 9.7 In der gutachtlichen Stellungnahme [4.4.7] sind Auflagen bezüglich noch vorzulegender Testberichte und Nachweise formuliert. Diese Auflagen sind für die Standsicherheit von Turm und Gründung nicht relevant, sind jedoch spätestens bis zur Inbetriebnahme der ersten Anlage zu erfüllen und mittels gutachtlicher Stellungnahme zu bewerten.

10 Zusammenfassung

Der unter Punkt 5 beschriebene Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 und die dazugehörigen Gründungen sind für die in Tabelle 5.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration ausgelegt.

Die unter Punkt 4.4 aufgeführten, gutachtlichen Stellungnahmen sind - unter Beachtung der Auflagen 9.6 und 9.7 - hinsichtlich der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015), Kapitel 3, Abschnitt I, vollständig und können für diese Windenergieanlage verwendet werden.

Alle relevanten Schnittstellen (Maschine/Turm/Fundament) wurden überprüft.

Statisch relevante, konstruktive Änderungen am Turm oder an den Fundamenten sind dem Prüfamts für Baustatik der TÜV NORD CERT GmbH mitzuteilen und einer Bewertung zu unterziehen. Ansonsten verliert dieser Prüfbescheid seine Gültigkeit.

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause



Prüfbericht zur Typenprüfung

Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03,
DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II

- Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 -

Prüfbericht Nr.:	T-7016/20-1 Rev. 0
Gegenstand der Prüfung:	Standicherheit des Hybridturms E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 für die oben genannte Windenergieanlage als Betonfertigteilturm mit Stahlsektionen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Anlagenhersteller (Antragsteller):	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland

Dieser Prüfbericht wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Prüfberichts ist nur durch eine vorherige, schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Anlagenherstellers bzw. Antragstellers gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet. Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 17 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	19.03.2021	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente	6
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einleitung	9
4	Beschreibung	9
4.1	Turm	9
4.2	Lastannahmen	10
4.3	Baustoffe	11
5	Prüfung	11
5.1	Umfang und Methodik	11
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	12
5.3	Ergebnisse	13
5.4	Schnittstellen	13
6	Auflagen	15
7	Zusammenfassung	16

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

- [1.1.1] H+P Ingenieure GmbH:
„STATISCHE BERECHNUNG TURMSTATIK E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01
Bauteil: Hybridturm Projekt: E19-024“, Dokument-Nr.: D0392296-4, Rev. 4,
Datum: 24.11.2020
- [1.1.2] H+P Ingenieure GmbH:
„MATERIALZÄHIGKEITSBERECHNUNG TURMSTATIK E-115 EP3 E3-HT-
135-ES-C-01 RINGFLANSCH H=+78,890M Bauteil: Hybridturm Projekt: E19-
024“, Dokument-Nr.: D0392666-2, Rev. 2, Datum: 20.11.2020
- [1.1.3] H+P Ingenieure GmbH:
„E20-024.2 ENERCON Bauzustände und Querschwingungsnachweise E-115
EP3 E3-HT-135-ES-C-01 (E19-024) Nachtrag zur Statischen Berechnung E19-
024 - Ergänzung Bauzustände“, Dokument-Nr.: D0392399-0, Rev. 0,
Datum: 23.10.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

- [1.1.4] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Planinhalt: Zusammenstellung Turm
Statik“, Dokument-Nr.: D0836461-4, Rev. 4, Datum: 20.11.2020
- [1.1.5] H+P Ingenieure GmbH:
„Benennung: 28,5m Stahlsektion Statik“, Dokument-Nr.: D0837179-2, Rev. 2,
Datum: 25.05.2020
- [1.1.6] H+P Ingenieure GmbH:
„Benennung: 16,665m Stahlsektion Statik“, Dokument-Nr.: D0837219-1, Rev. 1,
Datum: 04.11.2019
- [1.1.7] H+P Ingenieure GmbH:
„Benennung: 6,79m Stahlsektion Statik“, Dokument-Nr.: D0691929-5, Rev. 5,
Datum: 24.01.2020
- [1.1.8] ENERCON GmbH:
„Schraubkasten Typ F Statik“, Dokument-Nr.: 00.15.025 - 9, Rev. 9, Datum:
22.11.2017
- [1.1.9] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Planinhalt: Schalplan Betonfertig-
teilturm“, Dokument-Nr.: D0836460-1, Rev. 1, Datum: 06.02.2020

- [1.1.10] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Planinhalt: Übersicht Spanngliedführung“, Dokument-Nr.: D0836459-1, Rev. 1, Datum: 06.02.2020
- [1.1.11] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 04 SP09“, Dokument-Nr.: D0837296-2, Rev. 2, Datum: 20.12.2019
- [1.1.12] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 05 SP10“, Dokument-Nr.: D0837297-0, Rev. 0, Datum: 02.10.2019
- [1.1.13] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 06-SP11“, Dokument-Nr.: D0691933-2, Rev. 2, Datum: 02.07.2019
- [1.1.14] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101-Seg 07-SP08“, Dokument-Nr.: D0691934-1, Rev. 1, Datum: 25.01.2019
- [1.1.15] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 08 SP09“, Dokument-Nr.: D0837274-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.16] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 08z SP02“, Dokument-Nr.: D0837275-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.17] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 08z SP01“, Dokument-Nr.: D0837276-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.18] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 09 SP09“, Dokument-Nr.: D0837277-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.19] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 10 SP09“, Dokument-Nr.: D0837278-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.20] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 11 SP10“, Dokument-Nr.: D0837279-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.21] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 12 SP10“, Dokument-Nr.: D0837298-0, Rev. 0, Datum: 02.10.2019

- [1.1.22] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 13 SP10“, Dokument-Nr.:
D0837281-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.23] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 14 SP11“, Dokument-Nr.:
D0837282-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.24] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 15 SP10“, Dokument-Nr.:
D0837283-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.25] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 16 SP10“, Dokument-Nr.:
D0837284-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.26] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 17 SP13“, Dokument-Nr.:
D0837285-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.27] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 18 SP10“, Dokument-Nr.:
D0837299-0, Rev. 0, Datum: 25.09.2019
- [1.1.28] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 19 SP10“, Dokument-Nr.:
D0837300-0, Rev. 0, Datum: 25.09.2019
- [1.1.29] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 20 SP09“, Dokument-Nr.:
D0837288-0, Rev. 0, Datum: 20.09.2019
- [1.1.30] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 21 SP09“, Dokument-Nr.:
D0837301-0, Rev. 0, Datum: 25.09.2019
- [1.1.31] H+P Ingenieure GmbH:
„Planinhalt: Schal-und Bewehrungsplan 101 Seg 22 SP08“, Dokument-Nr.:
D0837302-3, Rev. 3, Datum: 03.07.2020

Spezifikationen

- [1.1.32] H+P Ingenieure GmbH:
Spannprogramm „BERECHNUNG DER VORSPANNKRÄFTE UND DEHN-
WEGE E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Bauteil: Betonfertigteilturm Projekt:
E19-024“, Dokument-Nr.: D0392329-4, Rev. 4, Datum: 20.11.2020

[1.1.33] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage ENERCON E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Spannverfahren“,
Dokument-Nr.: D0865033-1, Rev. 1, Datum: 20.02.2020

[1.1.34] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Fundamentlasten“, Dokument-Nr.:
D0862298-1, Rev. 1, Datum: 09.06.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen

[1.2.1] ENERCON GmbH:
„Lastenbericht Turm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA Abdeckende Betriebs-
und Extremlasten für den Turm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA der WEA E-
115 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 nach DIBt und IEC“,
Dokument-Nr.: D0841671-0a, Rev. 0a, Datum: 29.06.2020

[1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3 RB E-115
EP3-RB-03, NH 135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01) DIBt WZ 3, GK I&II
- Lastannahmen Turm und Fundament -“,
Bericht Nr.: 8116503696-1 D II Rev.2, Datum: 03.07.2020

Kopfflansch

[1.2.3] ENERCON GmbH:
Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“,
Dokument-Nr.: 115.03.003 - 4, Rev. 4, Datum: 20.04.2020

[1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:
„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotor-
blatt E-115 EP3-RB-03, verschiedene Konfigurationen, - Turmkopfflansch -“,
Bericht Nr.: 8116 503 696-11 D Rev. 1, Datum: 31.08.2020

Spezifikationen

[1.2.5] ENERCON GmbH:
„Materialspezifikation Betonstahl“,
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

[1.2.6] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Horizontale Systemfuge“,
Dokument-Nr.: D0306333-3, Rev. 3, Datum: 16.07.2015

[1.2.7] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Verschraubung des Schraubkastens für den Betonfertigteilturm“,
Dokument-Nr.: D0210193/1, Rev. 3, Datum: 04.07.2012

- [1.2.8] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Verschrauben von Ringflanschen“,
Dokument-Nr.: D0215476-2, Rev. 2, Datum: 05.01.2017
- [1.2.9] ENERCON GmbH:
„Spezifikation Temporäre Teilvorspannung bei Fundamentkörben bzw. Verbindungsflanschen“, Dokument-Nr.: D0193587-2, Rev. 2, Datum: 07.08.2014

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

- [1.2.10] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung;
Nummer: Z-13.3-110; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren
VT-CMM KD für externe Vorspannung“, gültig vom 03.09.2020 bis 03.09.2025
- [1.2.11] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-143; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren VT-CMM D/KD für Windenergieanlagen“, gültig vom 15.04.2019 bis 15.04.2024

Ansichtszeichnung

- [1.2.12] ENERCON GmbH:
"Ansichtszeichnung Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01",
Dokument-Nr.: EP3.00.143 - 6, Rev. 6, Datum: 30.01.2020

Zusätzliche Berechnungen

- [1.2.13] EZI - Ingenieure GmbH:
„Bericht WEA- - Hybridtürme – Querschwingungsnachweise Erarbeitung spezifischer Anwendungsregeln für Querschwingungsnachweise Projekt Nr. 2020-022“, Bericht Nr.: 2020-022-1, Datum: 31.07.2020

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1991-1-1:2010-12 + DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 + A1:2015-05:
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“

- [2.4] DIN EN 1991-1-4:2010-12 + DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12:
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten“
- [2.5] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.6] DIN EN 1993-1-1:2010-12 + DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.7] DIN EN 1993-1-6:2010-12 + DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen“
- [2.8] DIN EN 1993-1-8:2010-12 + DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“
- [2.9] DIN EN 1993-1-9:2010-12 + DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung“
- [2.10] DIN EN 1993-1-10:2010-12 + DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12:
„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung“
- [2.11] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.12] DIN EN 1998-6:2006-03:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine“
- [2.13] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAfStb Heft 439, 1994
- [2.14] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, DAfStb Heft 600, 2012

- [2.15] Verein Deutscher Ingenieure:
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen – Zylindrische Einschraubenverbindungen“, VDI 2230 Blatt 1, 11.2015

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung des Hybridturms E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01, welcher nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

4 Beschreibung

4.1 Turm

Der Turm hat eine Höhe von 130,615 m (OK Fundament bis OK Kopfflansch) und besteht aus einem vorgespannten Betonfertigteilturm und einem Stahlteil. Der Außendurchmesser des Betonturms am Turmfuß beträgt 8,429 m. Der Kopfflansch des Stahlteils zur Aufnahme der Anlage hat einen Außendurchmesser von 3,557 m.

Der Betonturm hat einen Kreisringquerschnitt mit einem nach oben hin abnehmenden Durchmesser. Der Betonturm ist über die Höhe in mehrere Segmente aufgeteilt. Am oberen Ende befindet sich ein Betonadapter zur Verbindung mit dem Stahlteil.

Die Segmente bestehen aus werksmäßig hergestellten Stahlbetonfertigteilen. Die unteren Segmente werden dabei aus zwei Schalenelementen zusammengefügt, während die oberen Segmente und der Betonadapter aus einem Stück hergestellt sind.

Die horizontale Fuge zwischen den Betonsegmenten kann entweder als Verbundfuge mit Kunstharzmörtel als Füllmaterial oder alternativ als verbundlose Systemfuge ausgeführt werden (siehe auch [1.2.6]).

Die Teilschalen werden in den vertikalen Fugen durch einbetonierte Schraubkästen und vorgespannte Schrauben verbunden.

Der Betonturm ist auf einer Mörtelschicht auf dem Fundament gebettet und wird mit externen Spanngliedern ohne Verbund vorgespannt. Die Spannstelle befindet sich dabei im Spannkeller des Fundaments.

Am oberen Ende dient der Fußflansch des Stahlteils als Widerlager für die Spannglieder.

Der Stahlteil besteht aus einer werksseitig geschweißten Stahlblechkonstruktion. Die Stahlsektionen werden mittels vorgespannter L-Ringflanschverbindungen auf der Baustelle zusammengeschaubt.

Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Turms berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Gelände-kategorie	Turmnachweise
1	E-115 EP3 E3	4200 kW	E-115 EP3-RB-03	WZ 3	GK I u. II	[1.1.1] - [1.1.3]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Turmnachweise

Die betrachtete Windenergieanlage hat folgende technische Basisdaten:

Nabenhöhe:	135,0 m
Gondelmasse (inkl. Rotor):	237,6 t
Rotordurchmesser (nominell):	116,028 m
Rotordurchmesser (projiziert):	115,710 m *

*) Projektion unter Berücksichtigung von Konuswinkel und Rotorblattbiegung, siehe Zeichnung [1.2.12]

In [1.1.1] wurde die erste Turmeigenfrequenz bei elastischer und bei starrer Fundamenteinspannung ermittelt:

$$f_0 = 0,248 \text{ Hz bei elastischer Einspannung (} k_{\phi, \text{dyn}} = 100\,000 \text{ MNm/rad)}$$

$$f_0 = 0,288 \text{ Hz bei starrer Einspannung}$$

4.2 Lastannahmen

Die Lastannahmen wurden mit einem gesamtdynamischen Modell der Anlage unter Berücksichtigung der Elastizität von Turm und Rotorblättern bestimmt. Dabei wurden am Turmfuß sowohl eine starre als auch eine elastische Einspannung in Höhe von $k_{\phi, \text{dyn}} = 100\,000 \text{ MNm/rad}$ angesetzt.

Die folgenden Lastannahmen liegen der Turmberechnung zugrunde:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Gelände-kategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-115 EP3 E3	135,0 m	4200 kW	E-115 EP3-RB-03	WZ 3	GK I u. II	[1.2.1]	[1.2.2]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Lastannahmen sind für eine Turmeigenfrequenz von 0,252 - 0,289 Hz (fore-aft) mit einem zulässigen Intervall von $\pm 5 \%$ gültig.

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1), den Spezifikationen [1.2.5] bis [1.2.9] und der Zeichnung [1.2.3] (Turmkopfflansch) entnommen werden.

Stahlteil

Baustahl:	S355	DIN EN 10025-1 bis -3
L-Flanschschrauben:	HV-Garnituren Festigkeitsklasse 10.9	DAST-RiLi 021 DIN EN ISO 898-1

Darüber hinaus basiert die Bemessung des Stahlteils auf folgenden Annahmen:

Für die symmetrischen Ringflansche werden in [1.1.1] folgende, von der DIN EN 10025-3 abweichende Werte der Streckgrenze angenommen:

- Flansch auf $h = 102,115 \text{ m}$ ($\varnothing 4276 \text{ mm}$): $R_{eH} = 355 \text{ N/mm}^2$
- Flansch auf $h = 85,45 \text{ m}$ ($\varnothing 4296 \text{ mm}$): $R_{eH} = 345 \text{ N/mm}^2$
- Flansch auf $h = 78,66 \text{ m}$ ($\varnothing 4346 \text{ mm}$): $R_{eH} = 325 \text{ N/mm}^2$

Betonfertigteilturm

Beton:	C60/75 bis C80/95	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Betonstahl:	B500B	DIN 488
Spannverfahren:	VT-CMM KD Litzenspannverfahren ohne Verbund, Zulassung Nr. Z-13.3-110 [1.2.10] mit Z-13.3-143 [1.2.11], 24 externe Spannglieder vom Typ 4x04-165 KD mit 16 Litzen, Stahlgüte St 1600/1820	

Ferner basiert die Bemessung des Betonturms auf den folgenden Annahmen:

Klebemörtel:	Kunstharzmörtel nach DIN EN 1504-4 (inkl. Anhang A), der Mörtel muss mindestens die Festigkeit des sich anschließenden Fertigteilegments besitzen.
--------------	--

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) wurden in den eingereichten statischen Berechnungen (siehe 1.1) geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Prüfung umfasst den vorgespannten Betonfertigteilturm (mit Spanngliedern und Ankerköpfen) sowie die Stahlsektionen.

Die Vergussfuge am Turmfuß und die Verankerungsbauteile für die Spannglieder im Fundament sind nicht Bestandteil dieser Prüfung.

Darüber hinaus wurde die Konformität mit dem Turmmodell aus der Lastrechnung hinsichtlich folgender Punkte überprüft:

- Zulässiger Turmeigenfrequenzbereich gemäß Abschnitt 4.2
- Turmaußenabmessungen hinsichtlich des verbleibenden Freigangs bei durchgebogenen Rotorblättern

Der ausreichende Freigang zwischen Turm und durchgebogenem Rotorblatt wurde in [1.2.2] geprüft.

Turmeinbauten (z.B. Arbeitsbühnen, Leitern oder Befahreinrichtungen) sowie zugehörige Schweißanschlüsse oder Verankerungen sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Die Ausrundung am Kopfflansch, der Stumpfstoß zwischen Turmwand und Kopfflansch sowie die Schrauben der Ringflanschverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager wurden in [1.2.4] geprüft.

Montagezustände wurden durch den Ansatz von wirbelerregten Querschwingungen gemäß DIN EN 1991-1-4 berücksichtigt (s. [1.1.1]). Weitere Zustände während des Transports oder der Montage sind nicht Bestandteil der Prüfung.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden in [1.1.1] berücksichtigt. Die Berechnung für Erdbebenzone 3 und die Untergrundverhältnisse C-T deckt alle Erdbebenzonen und Untergrundverhältnisse Deutschlands gemäß DIN EN 1998-1/NA ab.

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Allgemeines

Für die Bemessung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) berücksichtigt.

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten und Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung wurde eine Schiefstellung der Turmachse von 5 mm/m angenommen. Zusätzlich wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder $k_{\phi, \text{stat}} = 10\,000 \text{ MNm/rad}$ wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die unter 1.1 aufgeführten Unterlagen sind mit einem TÜV NORD Stempel versehen.

Stahlteil

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweiß- und Schraubverbindungen wurde mit $\gamma_{Mf} = 1,15$ angesetzt.

Die Geometrie des geprüften Kopfflansches in Zeichnung [1.2.3] wurde mit dem Turmdesign abgeglichen. Die strukturelle Integrität des Kopfflansches und seiner Schrauben wurde in [1.2.4] geprüft. Somit ist die Schnittstelle zwischen dem Turm und der Kopfflanschbaugruppe geklärt.

Toleranzen für lokal reduzierte Blechdicken wurden in [1.1.1] definiert und nachgewiesen.

Betonteil

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für Beton wurde gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu A.2.3 auf $\gamma_{c,red} = 1,35$ reduziert.

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Maschinenbauliche Komponenten

5.4.1 Der Nachweis des Turmkopfflansches wurde mit einer maximalen Schraubenvorspannkraft von 581,4 kN geführt.

Einbauten

5.4.2 Schweißanschlüsse für Einbauten müssen den in den Zeichnungen [1.1.5] bis [1.1.7] angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.

5.4.3 Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten (z.B. für Arbeitsbühnen, Leitern, Befahreinrichtungen oder Anschlagpunkte) haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit der Betonkonstruktion. Alle verwendeten Befestigungsmittel müssen jedoch bauaufsichtlich zugelassen und nachgewiesen sein.

Fundament

5.4.4 Die Anforderungen an das Fundament sind in [1.1.34] spezifiziert. Die Vorspannkräfte am Turmfuß sind [1.1.32] und [1.1.33] zu entnehmen. Wird der Nachweis der Betondruckspannungen im Lasteinleitungsbereich unter dem Turm nach DAfStb Heft 439 (s. [2.13]) und mit den in [1.1.34] aufgeführten Betriebslastkollektiven geführt, so sind die ermittelten Spannungen um 7% zu er-

höhen. Für den Nachweis des Betons außerhalb des direkten Lasteinleitungsbereiches und den Nachweis der Bewehrung in der Fundamentplatte muss diese Erhöhung nicht berücksichtigt werden. Alternativ zur Verwendung der in [1.1.34] abgebildeten Betriebslastkollektive mit dem Erhöhungsfaktor können die im Lastenbericht [1.2.1] angegebenen Markow-Matrizen verwendet werden.

- 5.4.5 Um die Funktionsfähigkeit der Anlage nicht zu beeinträchtigen, darf durch Setzungsunterschiede eine Fundamentneigung (Schiefstellung der Turmachse) von 3 mm/m innerhalb der Auslegungsdauer nicht überschritten werden.

Montage & Inbetriebnahme

- 5.4.6 Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen während der Errichtung wurde für die folgenden Zeiträume berücksichtigt:

Turm mit 1 Stahlsektion:	73 Tage
Turm mit 2 Stahlsektionen:	73 Tage
Turm ohne Gondel und ohne Rotor:	73 Tage
Turm mit Gondel ohne Rotor:	6 Monate

Bei der Errichtung des Stahlteils müssen in jedem Flansch mindestens 12 Bolzen mit einer Mindestvorspannkraft von jeweils 68,3kN vorhanden sein. Durch regelmäßige Windmessungen und Wettervorhersagen ist sicherzustellen, dass die am oberen Turmende gemessene Windgeschwindigkeit einen Wert von 10 m/s nicht überschreitet.

Andernfalls sind geeignete Maßnahmen zur Sicherung gegen wirbelerregte Querschwingungen zu treffen.

- 5.4.7 Falls die unter 5.4.6 genannten Zeiträume nicht eingehalten werden, darf die jeweils am oberen Turmende gemessene Windgeschwindigkeit einen Wert von $0,8 \times v_{crit}$ nicht überschreiten. Die maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten betragen somit:

Turm ohne Stahlsektionen:	15,36 m/s (für $t > 6$ Monate)
Turm mit 1 Stahlsektion:	18,08 m/s (für $t > 73$ Tage)
Turm mit 2 Stahlsektionen:	10,64 m/s (for $t > 73$ Tage)
Turm ohne Gondel:	4,32 m/s (für $t > 73$ Tage)
Turm mit Gondel ohne Rotor:	5,12 m/s (für $t > 6$ Monate)

Andernfalls sind geeignete Maßnahmen zur Sicherung gegen wirbelerregte Querschwingungen zu treffen.

- 5.4.8 Die Toleranzen für die Horizontalfuge zwischen den Fertigteilelementen wurden in der statischen Berechnung [1.1.1] (Kapitel 2.2) definiert.
- 5.4.9 Die Vorspannarbeiten am Betonfertigteilturm sind von einer Fachfirma auszuführen, welche für das verwendete Spannverfahren zugelassen ist. Für die Vor-

spannarbeiten sind die Spannanweisungen [1.1.32] und [1.1.33] sowie die Anforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [1.2.10] und [1.2.11] zu beachten. Der Spannvorgang ist zu dokumentieren.

- 5.4.10 Vor Aufbringen der Vorspannung müssen die Fertigteilsegmente ein Betonalter von mindestens 40 Tagen erreicht haben (siehe [1.1.1], S. 56). Ferner muss jede Mörtelfuge mindestens die Festigkeit der sich anschließenden Fertigteilsegmente erreicht haben.
- 5.4.11 Die Schrauben in den vertikalen Fugen der Betonsegmente sind gemäß [1.2.7], die Schrauben in den Flanschverbindungen gemäß [1.2.8] vorzuspannen.
- 5.4.12 Die 1. Eigenfrequenz des Gesamtsystems aus Turm und Fundament muss im Rahmen der Inbetriebnahme gemessen und dokumentiert werden. Sollte die gemessene 1. Eigenfrequenz außerhalb des im Lastgutachten definierten, zulässigen Bereichs liegen (siehe 4.2), sind weitere Untersuchungen anzustellen.
- 5.4.13 Beim Betriebsfestigkeitsnachweis der Betonfertigteile wurde ein Betonalter von 56 Tagen zum Zeitpunkt der zyklischen Erstbelastung angenommen.

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.14 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.
- 5.4.15 Die Vorspannkraft der Schrauben muss überprüft und ggf. unter Berücksichtigung der Spezifikationen [1.2.7] und [1.2.8] wieder aufgebracht werden.
- 5.4.16 Das Auftreten wirbelerregter Querschwingungen bei wartungsbedingten Stillstandszeiten (Turm inklusive Gondel und Rotor) wurde für einen Zeitraum von 15 Monaten berücksichtigt.
- 5.4.17 Das Spannsystem ist gemäß [1.2.10] und [1.2.11] zu überprüfen. Ferner ist festzustellen, dass keine Korrosionsschutzmasse (insbesondere am Spannanker und an den Umlenkstellen) austritt.

6 Auflagen

Betonteil

- 6.1 Bei der Herstellung, Ausführung und Aufstellung sämtlicher Betonbauteile sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der DIN 1045-4 zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.

- 6.2 Hebe- und Transportanker für die Betonfertigteile sind gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bzw. gemäß Herstellerangaben einzubauen und zu verwenden. Hierbei sind insbesondere die Zusatzbewehrung, die Mindestabstände und die zulässigen Winkel der Anschlagmittel zu beachten.
- 6.3 Die Fertigteile müssen werksmäßig hergestellt und dabei ständig überwacht werden. Im Rahmen der Reduzierung des Materialteilsicherheitsbeiwertes auf $\gamma_{C,red} = 1,35$ (s. DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu A.2.3 (1)) muss durch eine Überprüfung der Betonfestigkeit sichergestellt werden, dass Fertigteile mit zu geringer Betonfestigkeit ausgesondert werden.
- 6.4 Die Toleranzen bei der Geometrie der Betonfertigteile, insbesondere bei der Ebenheit der trockenen Horizontalfugen, sind im Rahmen des QM-Systems des Herstellers festzulegen und zu kontrollieren. Fertigteile, welche diesen Anforderungen nicht genügen, sind auszusondern.
- 6.5 Schweißungen an der horizontalen Wendelbewehrung sind ohne weiteren Nachweis nicht zulässig.

Stahlteil

- 6.6 Für die Ausführung der Stahlsektionen gilt DIN EN 1090. Als Mindestanforderung für Windenergieanlagen gilt die Ausführungsklasse EXC3.
- 6.7 Die Streckgrenzen des Flanschmaterials gemäß Kapitel 4.3 sind zu beachten.
- 6.8 Der Fußflansch der untersten Stahlsektion (\varnothing 4346 mm) ist vor dem Schweißprozess auf mindestens 100°C vorzuwärmen.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt der hier geprüfte Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

Der Prüfbericht zur Typenprüfung gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration.

Im Falle von standsicherheitsrelevanten Änderungen an der Turmkonstruktion verliert dieser Bericht seine Gültigkeit.

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Für eine vollständige Typenprüfung müssen alle gutachtlichen Stellungnahmen gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Kapitel 3, Abschnitt I sowie ein Prüfbescheid zur Typenprüfung vorliegen.

Der Leiter



Dipl.-Ing. T. Krause



An der Prüfung beteiligt:
Dipl.-Ing. / M.Sc. U. Lingslebe
Dipl.-Ing. T. Ladišić
Dr.-Ing. C. Fischer (Stahlsektionen)

Fertigteilesegmente / Precast units B500B Ø14			
Lfd. Nr. / Serial no.	Plan-Nr. / Plan-no.	Segment Nr. / Precast unit no.	Segment Nr. / Precast unit no.
1	D0837296-2	101 Seg 04 SP09	4
2	D0837297-0	101 Seg 05 SP10	5
3	D0691933-2	101 Seg 06 SP11	6
4	D0691934-1	101 Seg 07 SP08	7
5	D0837274-0	101 Seg 08 SP09	8
6	D0837275-0	101 Seg 08z SP02	9; 10
7	D0837276-0	101 Seg 08z SP01	11
8	D0837277-0	101 Seg 09 SP09	12
9	D0837278-0	101 Seg 10 SP09	13
10	D0837279-0	101 Seg 11 SP10	14
11	D0837298-0	101 Seg 12 SP10	15
12	D0837281-0	101 Seg 13 SP10	16
13	D0837282-0	101 Seg 14 SP11	17
14	D0837283-0	101 Seg 15 SP10	18
15	D0837284-0	101 Seg 16 SP10	19
16	D0837285-0	101 Seg 17 SP13	20
17	D0837299-0	101 Seg 18 SP10	21
18	D0837300-0	101 Seg 19 SP10	22
19	D0837288-0	101 Seg 20 SP09	23
20	D0837301-0	101 Seg 21 SP09	24
21	D0837302-3	101 Seg 22 SP08	25

Stahlsektionen / Steel sections			
Lfd. Nr. / Serial no.	Plan-Nr. / Plan-no.	Planinhalt / content	
1	D0988620-1	Fundamentkorb Statik	28,5m Steel section structural drawing
2	D0988619-1	Zusammenstellung Turm Statik	16,665m Steel section structural drawing
3	D0691929-5	6,79m Stahlsektion Statik	6,79m Steel section structural drawing

Übersichtspläne / Overview plans			
Lfd. Nr. / Serial no.	Plan-Nr. / Plan-no.	Planinhalt / content	
1	D0836459-1	Übersicht Spannngliedführung	Prestressing tendon layout general arrangement
2	D0836460-1	Schalplan Betonfertigteilturm	Shuttering plan precast concrete tower

Lfd. Nr. / Serial no.	D-Nummer / D-number	Dokument / Document	
1	D0392329-4	Spannanweisung Spannglieder	Prestressing procedure tendons

Lfd. Nr. / Serial no.	D-Nummer / D-number	Dokument / Document	
1	00.15.025 - 9	Schraubkasten Typ F Statik	Bolt Box Type F Structural drawing

Turmhöhe über OK Fundament Tower height over TOP foundation	130,615m
Turmhöhe über OK Gelände Tower height over top ground	133,165m
Nabenhöhe über OK Gelände Hub height over top ground	135,010m

FOK: Fundamentoberkante / TOP foundation
GOK: Geländeoberkante / TOP ground
TUK: Turmunterkante / Tower bottom edge

Hinweis / Note:
Es ist sicherzustellen, dass die Segmente bereits ohne Vorspannung vollflächig und kraftschlüssig übereinander stehen. Insbesondere in der Bauteilfuge zwischen Stahlsektion 3 und Segment Nr. 4 ist ein Kraftschluss ohne Vorspannung zu gewährleisten. /
It must be ensured that the segments are positioned force fit over the entire surface above one another even without the prestressing force. In particular, in the component joint between steel section 3 and segment no. 4 a force fit connection without the prestressing has to be ensured.

ENERCON GmbH
Direktion 5
Zähringerstr. 5
74605 Aichtal
Germany

HIP
Hegger + Partner
Struktural Design Engineers
Hegger + Partner
Struktural Design Engineers
Struktural Design Engineers

Uwe Lingscheid
TUV NORD CERT
2020-12-07

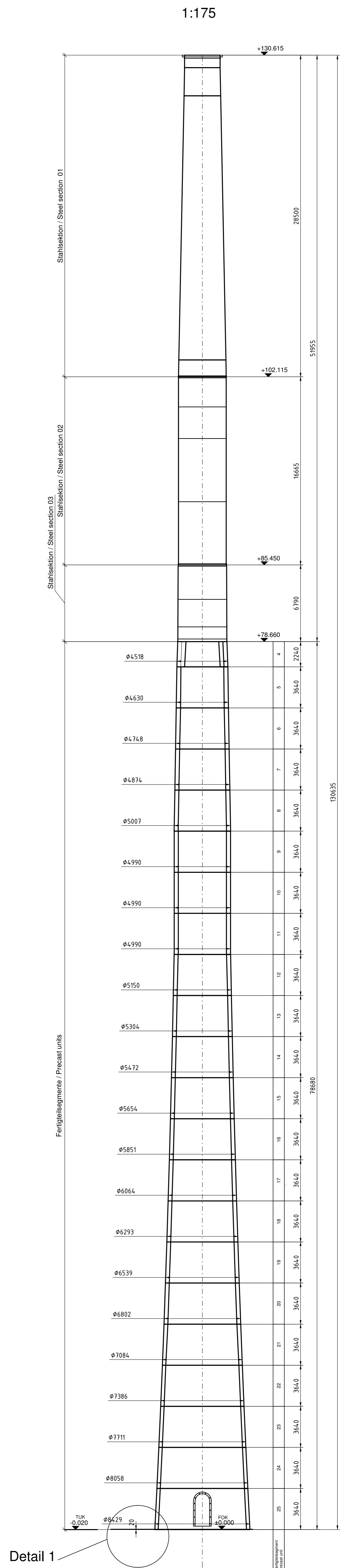
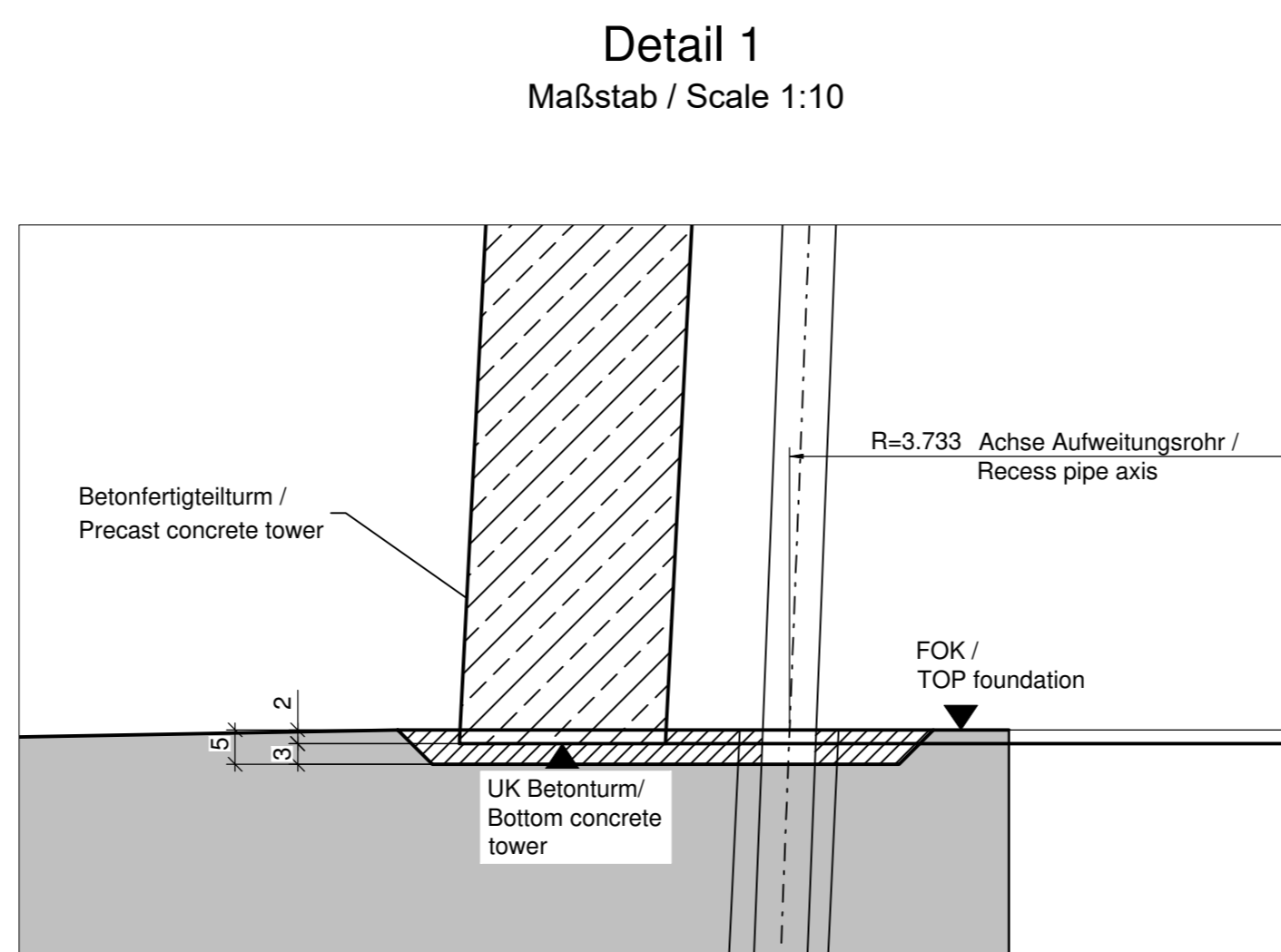
811689386 E II Rev. 1
Structural Design Engineers

Prüfstempel / certification stamp

Uwe Lingscheid
TUV NORD CERT GmbH
2020-12-07

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung
Nr.: T-201620-1 Rev. 0
vom: 19. März 2021

Nr.	Revisionsnummer / Revision number	Datum / Date	Gezeichnet / Drawn	Geprüft / Checked
4	Aktualisierung Revisionsnummern / Hinweis zu den Bauzuständen entfällt	20.11.2020	AR	AN
3	Aktualisierung Revisionsnummern	25.05.2020	AR	AN
2	Aktualisierung Dokumente und Revisionsnummern	06.02.2020	AR	AN
1	Aktualisierung Dokumente und Revisionsnummern	04.11.2019	AR	AN



Detail 1

Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03,
Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01,
DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II**

- Tiefgründung mit Auftrieb, D=18,80 m -

Prüfbericht Nr.:	T-7016/20-2 Rev. 0
Gegenstand der Prüfung:	Standsicherheit der Tiefgründung mit Auftrieb für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Anlagenhersteller (Antragsteller):	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Dieser Prüfbericht wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Prüfberichts ist nur durch eine vorherige, schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Anlagenherstellers bzw. Antragstellers gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet. Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 11 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	19.03.2021	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	5
3	Einleitung	6
4	Beschreibung	6
4.1	Fundament	6
4.2	Lastannahmen	7
4.3	Baustoffe	8
5	Prüfung	8
5.1	Umfang und Methodik	8
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	9
5.3	Ergebnisse	9
5.4	Schnittstellen	9
6	Auflagen.....	10
7	Zusammenfassung	10

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

[1.1.1] H+P Ingenieure GmbH:
„STATISCHE BERECHNUNG TIEFGRÜNDUNG MIT TEILAUFTRIEB E-115
EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Projekt: E19-048“, Dokument-Nr.: D0392749-1,
Rev. 1, Datum: 15.09.2020

[1.1.2] H+P Ingenieure GmbH:
„LASTENVERGLEICH E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Bauteil: Tiefgründung
mit Teilauftrieb Projekt: E20-063.2 zugehörig zu: E19-048, D0392749“,
Dokument-Nr.: D02169086-0, Rev. 0, Datum: 29.12.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

[1.1.3] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante A: 48x Fertigteil-
rammpfähle mit a=b=45cm Projekt-Nr.: E19-048 DfwpB“, Dokument-Nr.:
D0837312-2, Rev. 2, Datum: 18.01.2021

[1.1.4] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante B: 39x Ort beton-
rammpfähle mit Ø51cm Projekt-Nr.: E19-048 DfwpB“, Dokument-Nr.:
D0837313-2, Rev. 2, Datum: 18.01.2021

[1.1.5] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante C: 33x Ort beton-
rammpfähle mit Ø56cm Projekt-Nr.: E19-048 DfwpB“, Dokument-Nr.:
D0837314-2, Rev. 2, Datum: 18.01.2021

[1.1.6] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Schalplan Übersicht Variante D: 16x Bohrpfähle
mit Ø100cm Projekt-Nr.: E19-048 DfwpB“, Dokument-Nr.: D0837315-2, Rev. 2,
Datum: 18.01.2021

[1.1.7] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Bewehrungsplan 1 TgmTa Projekt-Nr.: E19-048
DfwpB“, Dokument-Nr.: D0837320-2, Rev. 2, Datum: 29.12.2020

- [1.1.8] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Bewehrungsplan 2 TgmTa Projekt-Nr.: E19-048
DfwpB“, Dokument-Nr.: D0837321-2, Rev. 2, Datum: 29.12.2020
- [1.1.9] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 1
TgmTa Projekt-Nr.: E19-048 DfwpB“, Dokument-Nr.: D0837322-2, Rev. 2, Da-
tum: 29.12.2020
- [1.1.10] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teilauftrieb
(TgmTa) Ø18,80m Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 2
TgmTa Projekt-Nr.: E19-048 DfwpB“, Dokument-Nr.: D0837323-2, Rev. 2, Da-
tum: 29.12.2020

Spezifikationen

- [1.1.11] ENERCON GmbH:
„Fundamentdatenblatt E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Tiefgründung mit Teil-
auftrieb WZ 3 GK I, GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“,
Dokument-Nr.: D0870410-4, Rev. 4, Datum: 20.01.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt
E-115 EP3-RB-03, DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II,
- Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 -“,
Prüfbericht Nr.: T-7016/20-1 Rev. 0, Datum: 19.03.2021
- [1.2.2] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Fundamentlasten“,
Dokument-Nr.: D0862298-1, Rev. 1, Datum: 09.06.2020
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage ENERCON E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Spannverfahren“,
Dokument-Nr.: D0865033-1, Rev. 1, Datum: 20.02.2020
- [1.2.4] H+P Ingenieure GmbH:
Spannprogramm „BERECHNUNG DER VORSPANNKRÄFTE UND DEHN-
WEGE E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Bauteil: Betonfertigteilturm Projekt:
E19-024“, Dokument-Nr.: D0392329-4, Rev. 4, Datum: 20.11.2020

Spezifikationen

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
„Ausführungs-Systematik zu Hinweisen der Bauausführung Für alle Fundamenttypen“, Dokument-Nr.: D0748194-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
„Hinweise zur Bauausführung Turmtypen E-XX EX/XX/XX/XX/XX & E-XX EX/XX/XX/XX/XX Für alle Fundamenttypen“,
Dokument-Nr.: D0748193-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Materialspezifikation Betonstahl“,
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

- [1.2.8] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung;
Nummer: Z-13.3-110; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren
VT-CMM KD für externe Vorspannung“, gültig vom 03.09.2020 bis 03.09.2025
- [1.2.9] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-143; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren VT-CMM D/KD für Windenergieanlagen“, gültig vom 15.04.2019 bis 15.04.2024

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1997-1:2014-03 + DIN EN 1997-1/NA:2010-12:
„Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“

- [2.5] DIN 1054:2010-12 + A1:2012-08 + A2:2015-11:
„Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“
- [2.6] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAFStb Heft 439, 1994
- [2.8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, DAFStb Heft 600, 2012
- [2.9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, 04.2010

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung einer Tiefgründung mit Auftrieb, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

4 Beschreibung

4.1 Fundament

Das Fundament dient der Aufnahme des vorgespannten Betonfertigteilturms mit Stahlsektionen E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisringfundament weist einen Außendurchmesser von 18,80 m auf und ist für die folgenden Pfahlvarianten ausgelegt:

- Variante A: 48 Fertigteilrammpfähle mit 45/45 cm
- Variante B: 39 Ortbetonrammpfähle mit Ø 51 cm
- Variante C: 33 Ortbetonrammpfähle mit Ø 56 cm
- Variante D: 16 Bohrpfähle mit Ø 100 cm

Unterhalb des Sockelbereichs befindet sich eine statisch erforderliche, kreisförmige Bodenplatte.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Weitere Details können den Schalplänen [1.1.3] bis [1.1.6] und dem Fundamentdatenblatt [1.1.11] (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
1	E-115 EP3 E3	135,0 m	4200 kW	E-115 EP3-RB-03	WZ 3	GK I u. II	[1.1.1] - [1.1.2]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Fundamentnachweise

4.2 Lastannahmen

Die angesetzten Turmfußlasten decken folgende Konfiguration ab und sind in den aufgelisteten Dokumenten spezifiziert und geprüft:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-115 EP3 E3	135,0 m	4200 kW	E-115 EP3-RB-03	WZ 3	GK I u. II	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden berücksichtigt (s. [1.2.1]).

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten und Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung wurde eine Schiefstellung der Turmachse von 5 mm/m angenommen. Zusätzlich wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder $k_{\varphi,stat} = 10\,500\text{ MNm/rad}$ wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die dynamische Bodendrehfeder wurde mit $k_{\varphi,dyn} = 105\,000\text{ MNm/rad}$ angesetzt.

Verkehrslasten auf der Fundamentplatte wurden nicht berücksichtigt.

Das Fundament wurde mit und ohne Belastung aus Auftrieb berechnet. In der statischen Berechnung wurde angenommen, dass der maximale Wasserstand aus Schichten- und Oberflächenwasser oder Grundwasser 2,55 m unter der Oberkante des Fundamentsockels liegt.

Die Werte der Vorspannung wurden [1.2.3] und [1.2.4] entnommen und in [1.2.1] geprüft.

Zusätzlich zum Endzustand wurde ein Bauzustand mit Belastung aus Frischbetoneigen-
gewicht nachgewiesen (s. [1.1.3] bis [1.1.6]).

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile
aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw.
der Spezifikation [1.2.7] entnommen werden.

Fundament

Fundamentplatte:	C30/37	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Bodenplatte:	C30/37	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Vergussmörtel:	≥ C70/85	DIN EN 206-1 Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb- Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebun- denem Vergussbeton und Vergussmörtel“ genügen.
Betonstahl:	B500B	DIN 488
Spannverfahren:	VT-CMM KD Litzenspannverfahren ohne Verbund, Zu- lassung Nr. Z-13.3-110 [1.2.8] mit Z-13.3-143 [1.2.9], 24 externe Spannglieder vom Typ 4x04-165 KD mit 16 Litzen, Stahlgüte St 1600/1820	

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) wurden in den eingereichten statischen Berechnungen (siehe 1.1) geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Prüfung umfasst das Fundament, die Vergussfuge am Turmfuß und die Bodenplatte.

Der Turm, die innere Tragfähigkeit der Pfähle und die geotechnischen Nachweise (inklusive der äußeren Tragfähigkeit der Pfähle) sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Der Hybridturm und die externen Spannglieder wurden in [1.2.1] geprüft.

Bei der Prüfung wurde ein Bauzustand berücksichtigt (s. [1.1.3] bis [1.1.6]).

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Allgemeines

Für die Bemessung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) berücksichtigt.

Die unter 1.1 aufgeführten Unterlagen sind mit einem TÜV NORD Stempel versehen.

Fundament

Unter dem Kreisring ist eine 50 cm dicke, bewehrte Bodenplatte angeordnet. Die Bodenplatte dient als Zugband und ist sowohl für Wasserdruck von unten als auch für die entsprechende Normalkraft ausgelegt. Die Fuge zwischen der Bodenplatte und dem Kreisring ist mit einer umlaufenden Anschlussbewehrung versehen, die Bodenplatte selbst ist kreuzweise bewehrt. Da eine vollständige Dichtheit der Fuge nicht unbedingt gewährleistet ist, kann es innerhalb des Kreisrings zum gleichen Wasserstand wie außen kommen. Beide Grenzzustände wurden untersucht.

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Turm

5.4.1 Es wurde überprüft, ob das Fundament die im Turmbericht [1.2.1] spezifizierten Anforderungen erfüllt.

Geotechnische Nachweise und Pfähle

5.4.2 Alle geotechnischen Nachweise inklusive der nachfolgend aufgeführten Anforderungen an den Baugrund sind durch einen Gutachter für Geotechnik für den jeweiligen Gründungsbereich nachzuweisen.

5.4.3 Der Baugrund und das Pfahlsystem müssen die in [1.1.11] spezifizierten Anforderungen erfüllen.

5.4.4 Das Pfahlsystem wurde für eine Absetztiefe von 20 m berechnet, bezogen auf die Unterkante der Fundamentplatte. Die Pfahllänge kann je nach Baugrundbeurteilung und nach den örtlichen Bohr- bzw. Rammbedingungen variieren.

5.4.5 Für den Nachweis der äußeren Tragfähigkeit der Pfähle sind die in [1.1.11] angegebenen Bemessungslasten zu verwenden.

Montage & Inbetriebnahme

- 5.4.6 Aufgrund der beim Ermüdungsnachweis getroffenen Annahmen darf die Windenergieanlage frühestens 35 Tage nach Herstellung des Fundaments in Betrieb genommen werden. Ferner ist ein langsam erhärtender Zement zu verwenden.

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.7 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

6 Auflagen

Fundamentplatte

- 6.1 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der Spezifikation [1.2.6] zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.
- 6.2 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Betontechnologie hinzuzuziehen. Die Betongüten sind durch Betonprüfzeugnisse der Lieferfirmen nachzuweisen. Auf die Einhaltung der geforderten Betondeckung sowie auf die fachgerechte Verlegung der Bewehrung ist zu achten. Bei Bauteilen des Gründungskörpers, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen, wurde die rechnerische Rissbreite auf 0,2 mm begrenzt, bei allen übrigen Bauteilen des Gründungskörpers auf 0,3 mm. Sollten nach dem Aushärten des Betons unzulässig breite Risse festgestellt werden, sind diese fachgerecht zu sanieren.

Anforderungen an den Baugrund und die Pfähle

- 6.3 Die innere Tragfähigkeit der Pfähle muss für jeden Standort nachgewiesen werden. Die in [1.1.1] ermittelten und in [1.1.11] aufgeführten Pfahlbiegemomente und -querkräfte dienen lediglich der Vorbemessung und dürfen nicht für die Auslegung von Pfahlgründungen verwendet werden.
- 6.4 Die Drehfedersteifigkeit des Fundaments hängt von den Bodenkennwerten und dem Pfahlsystem ab und ist für jeden Standort zu bestätigen.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt die hier geprüfte Tiefgründung mit Auftrieb die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

Der Prüfbericht zur Typenprüfung gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration.

Im Falle von standsicherheitsrelevanten Änderungen an der Fundamentkonstruktion verliert dieser Bericht seine Gültigkeit.

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Für eine vollständige Typenprüfung müssen alle gutachtlichen Stellungnahmen gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Kapitel 3, Abschnitt I sowie ein Prüfbescheid zur Typenprüfung vorliegen.

Der Leiter

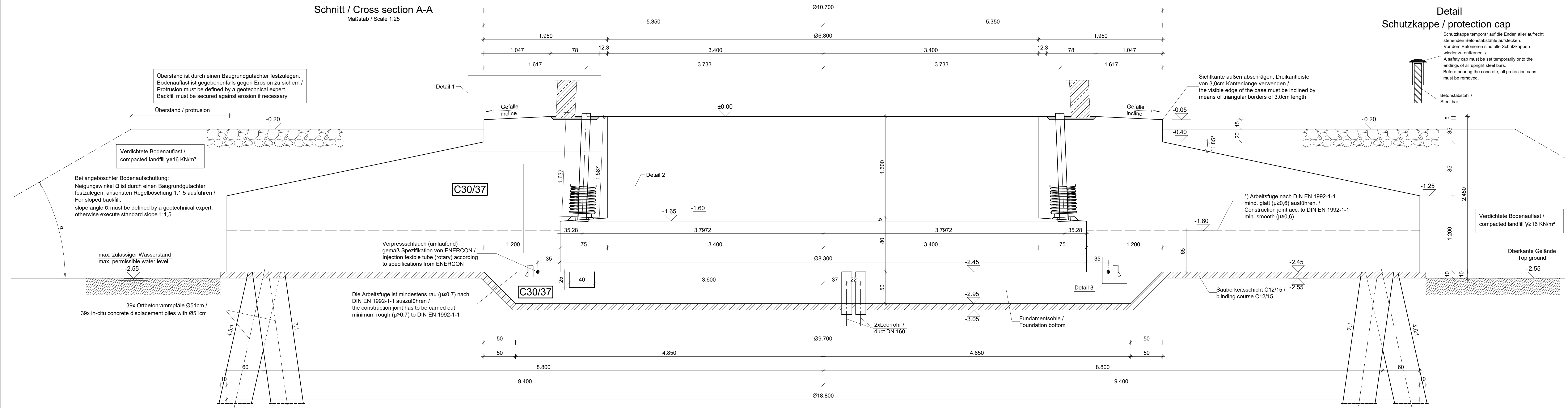


Dipl.-Ing. T. Krause

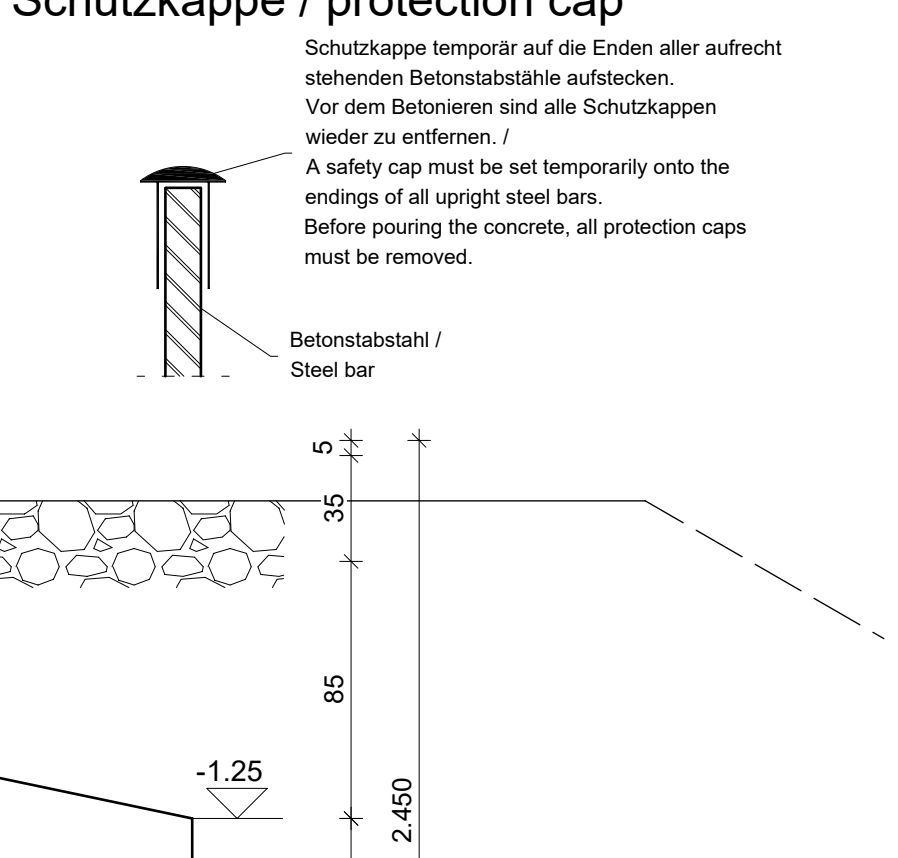


An der Prüfung beteiligt:
Dipl.-Ing. (FH) N. Chamoun

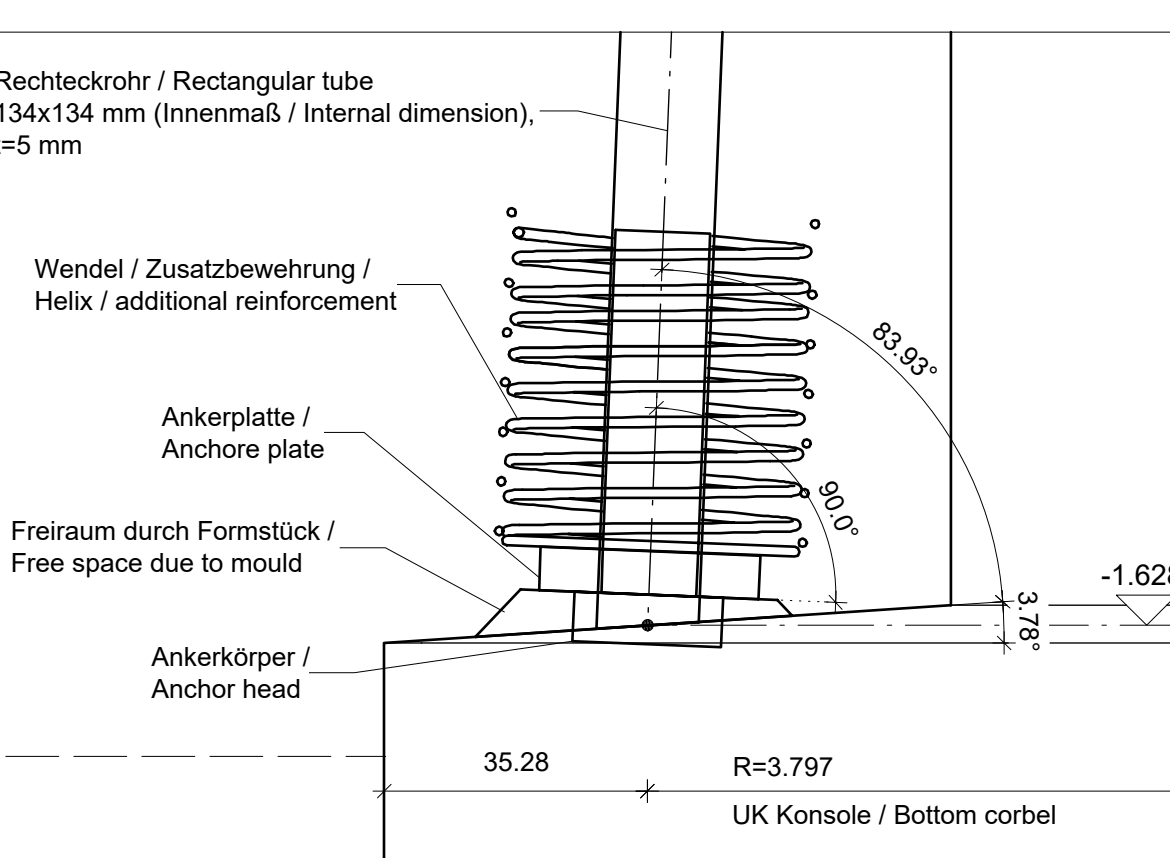
Schnitt / Cross section A-A
Maßstab / Scale 1:25



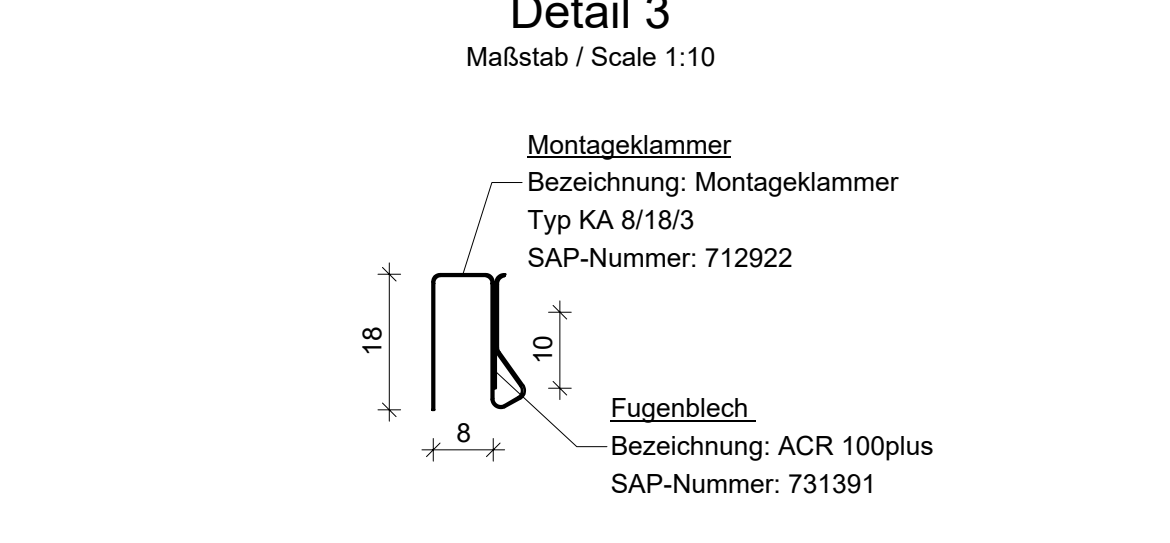
Detail Schutzkappe / protection cap
Maßstab / Scale 1:10



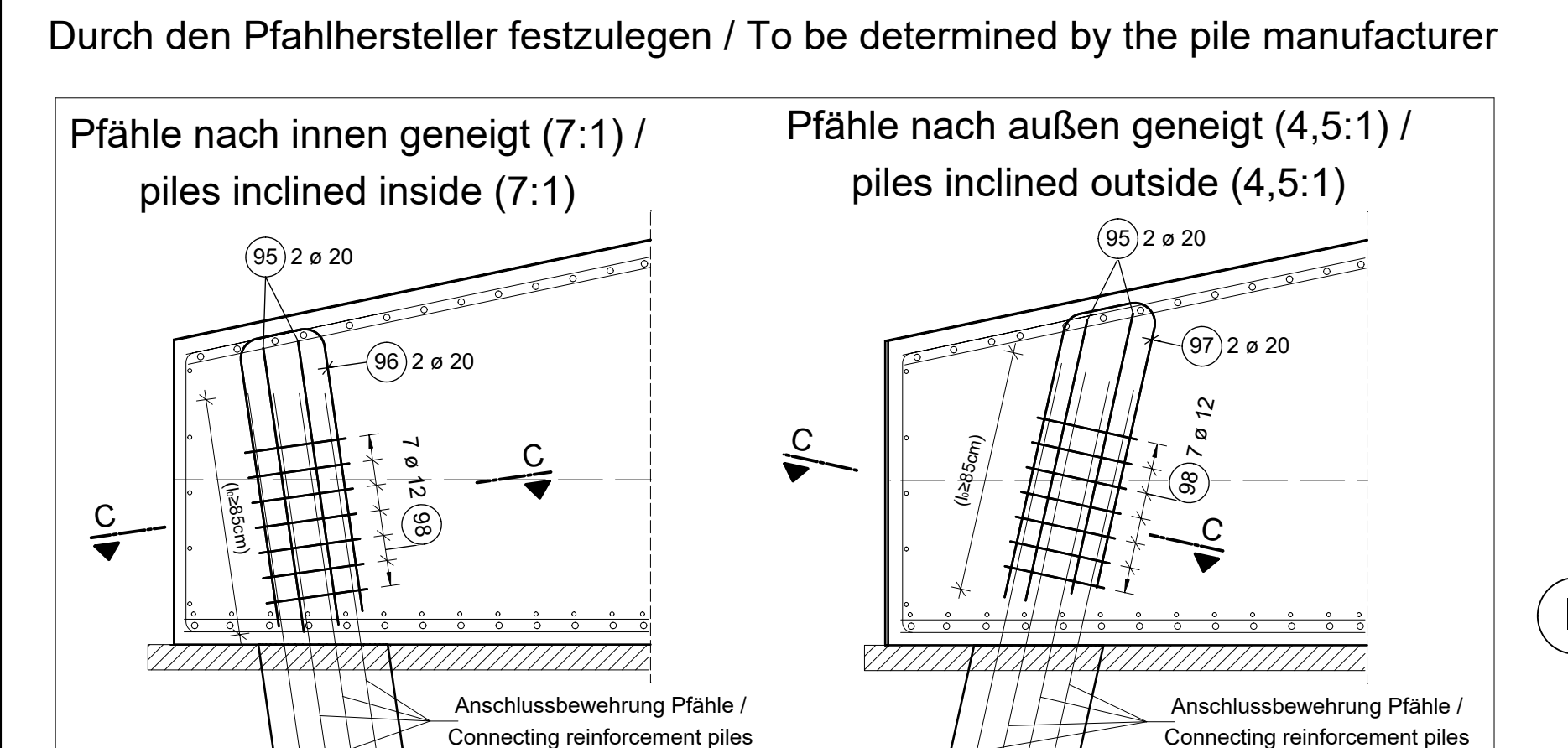
Detail 2
Maßstab / Scale 1:10



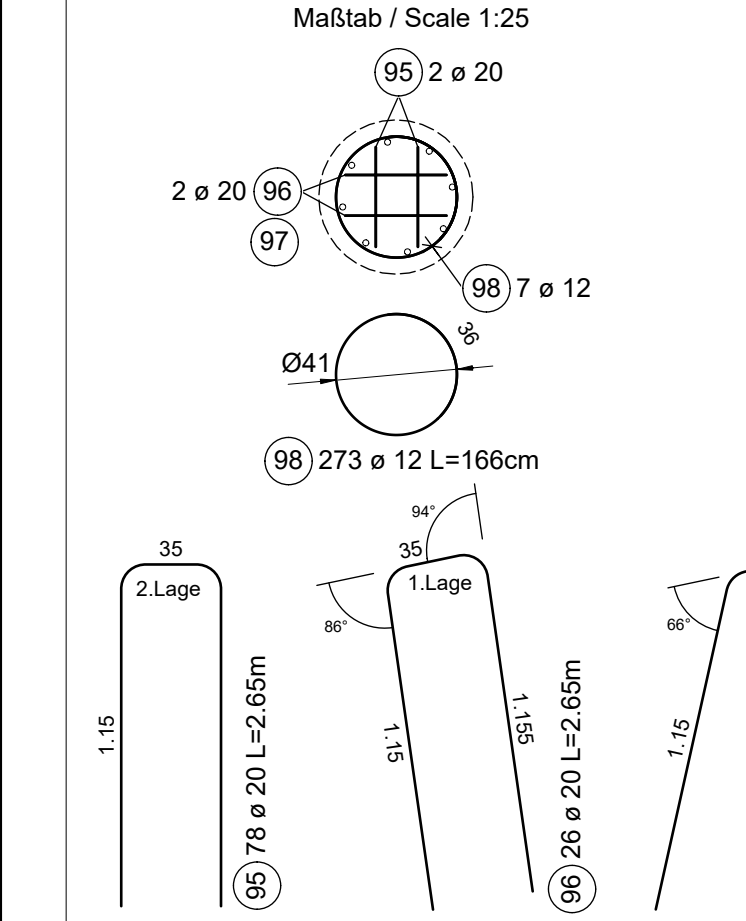
Detail 3
Maßstab / Scale 1:10



Exemplarische Anschlussbewehrung Pfähle / connecting reinforcement piles exemplary
Maßstab / Scale 1:25

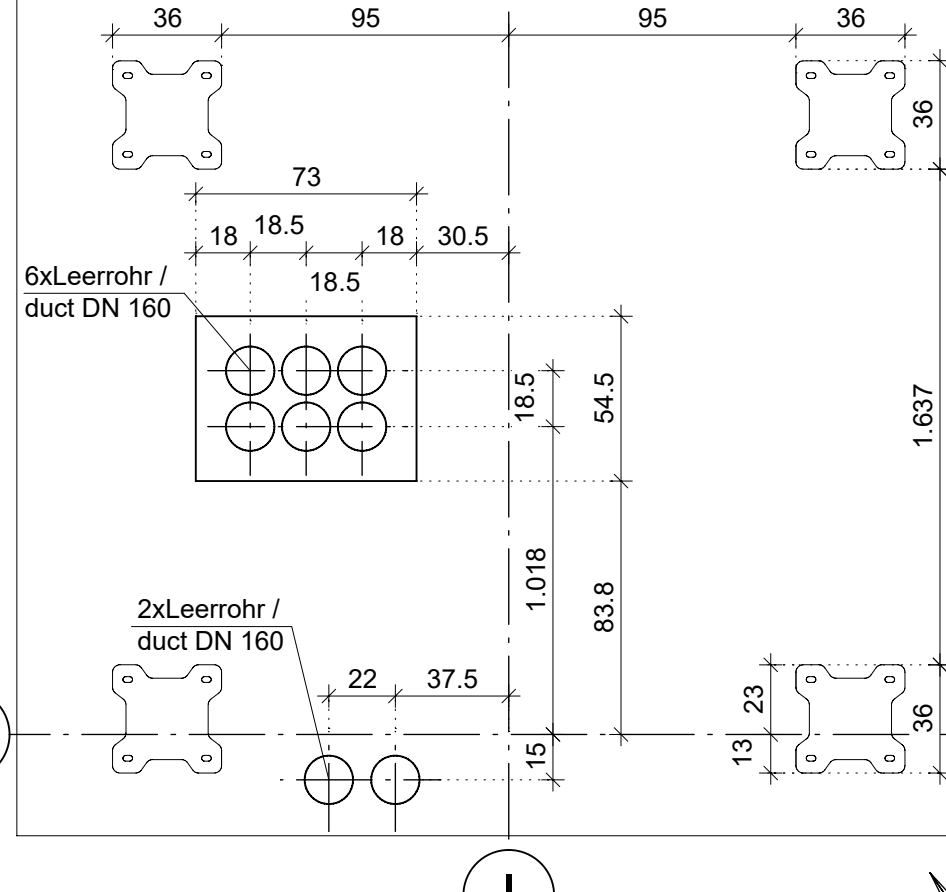


Schnitt / Section C-C
Maßstab / Scale 1:25

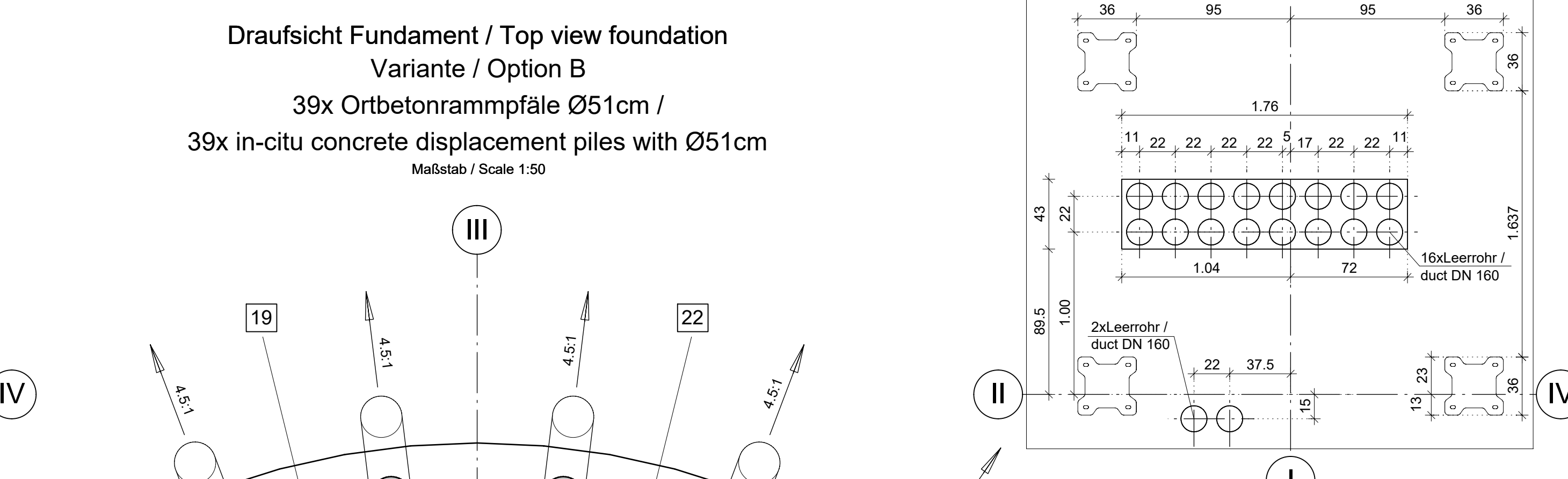


Pos.	Anzahl/Number	Ø	Länge/Length (m)	Gesamtlänge/Subtotal length (m)
95	2	20	2.65	206.70
96	78	20	2.65	68.90
97	52	20	2.65	137.80
98	273	12	1.66	453.18
Gesamtlänge je Durchmesser/Length acc. to diameters (m)				453.18
Gewicht/Mass (kg/m)				0.888
Gesamtgewicht je Durchmesser/Subtotal by diameter (kg)				402.42
Total (kg)				1423.52

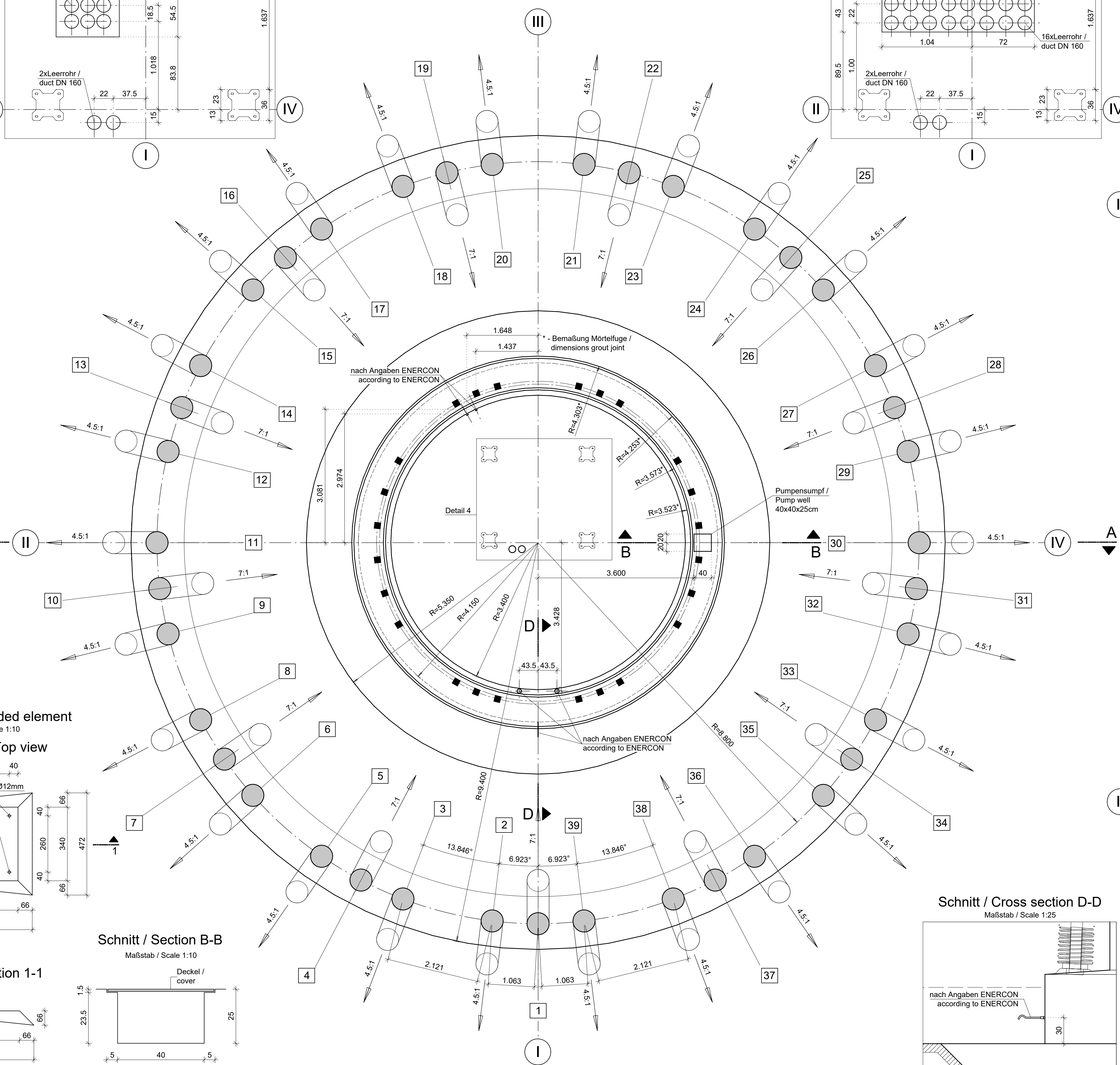
Detail 4 Variante/Option 1
Maßstab / Scale 1:25



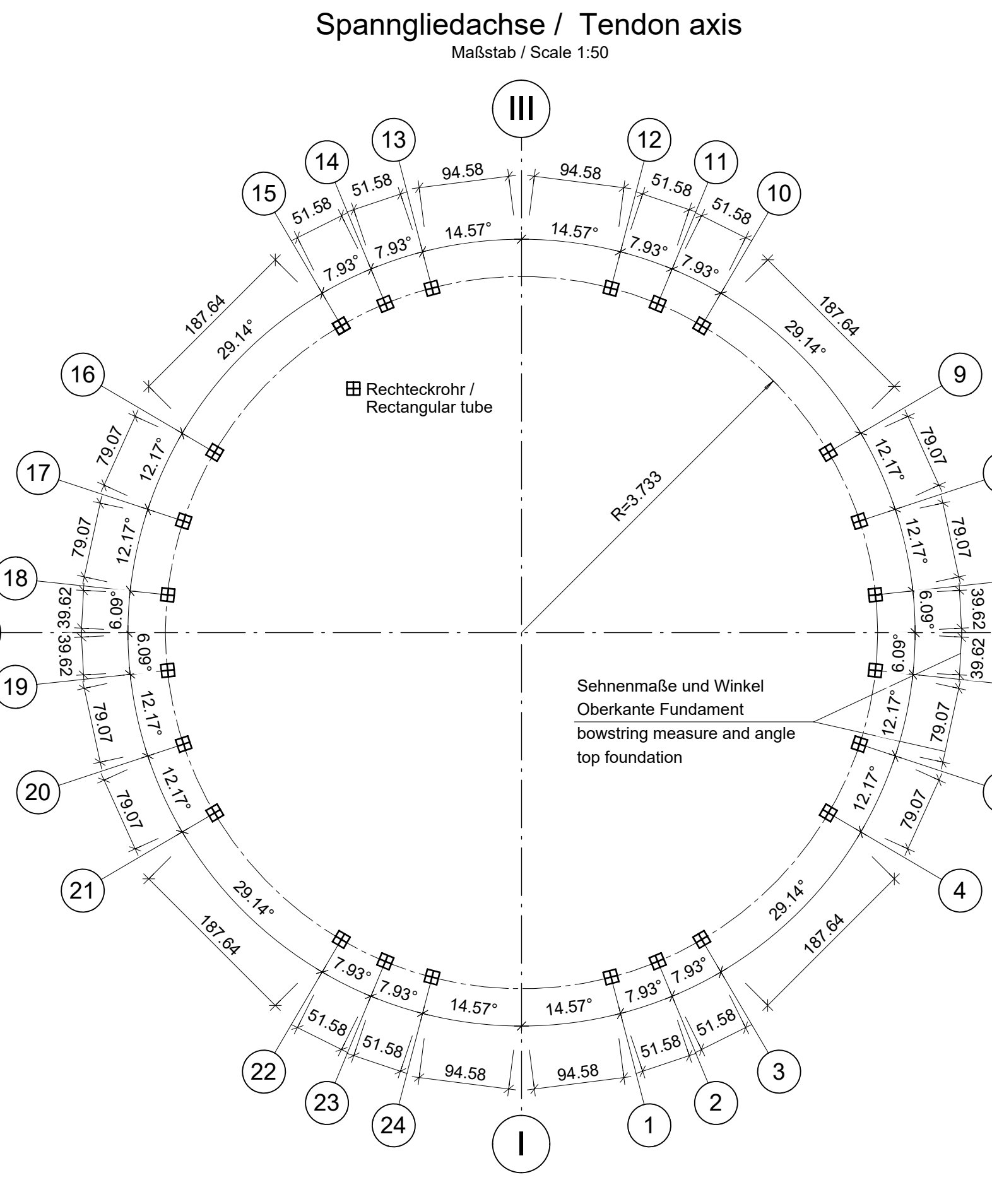
Detail 4 Variante/Option 2
Maßstab / Scale 1:25



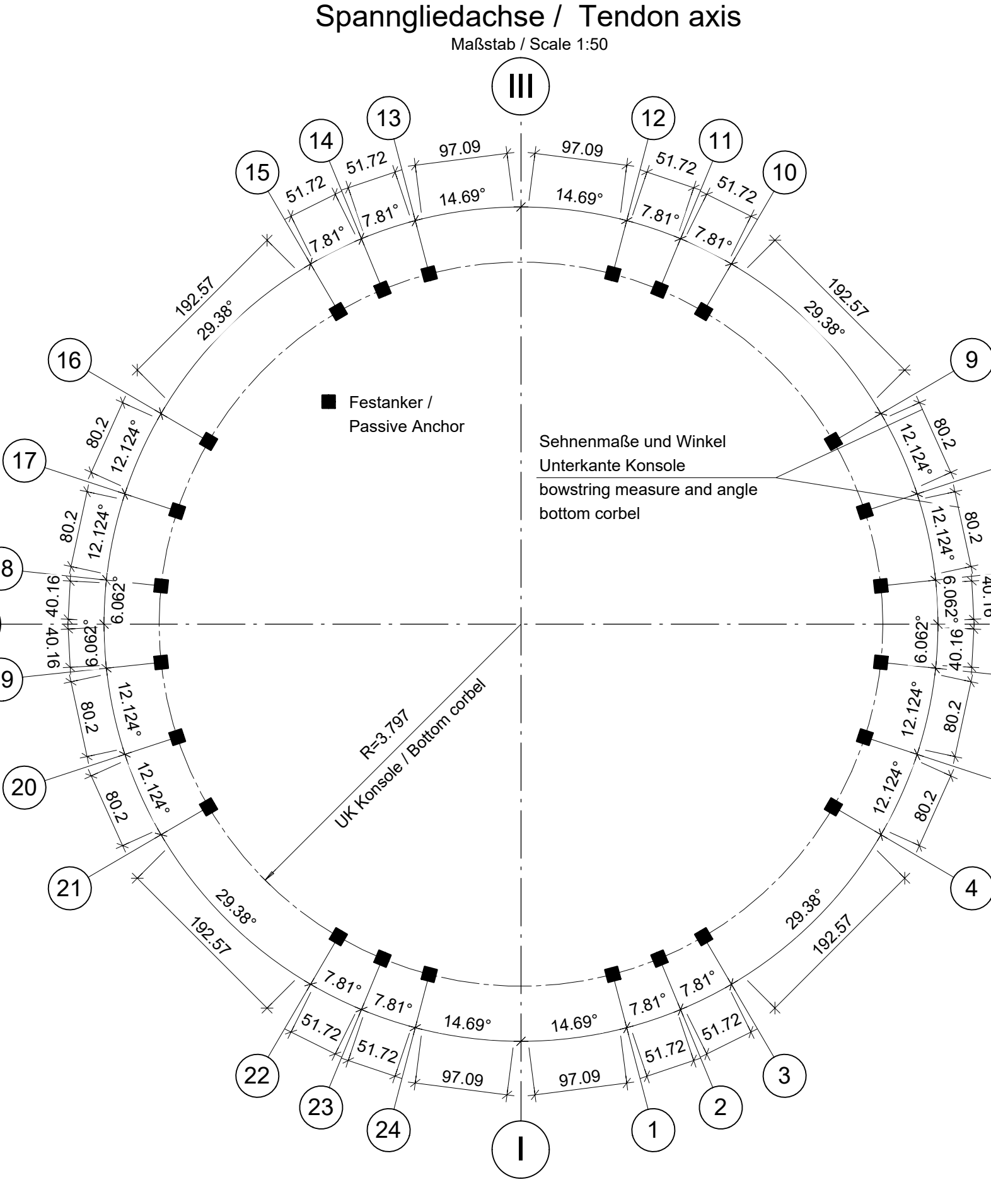
Draufsicht Fundament / Top view foundation Variante / Option B
39x Ort betonrammpfähle Ø51cm / 39x in-citu concrete displacement piles with Ø51cm
Maßstab / Scale 1:50



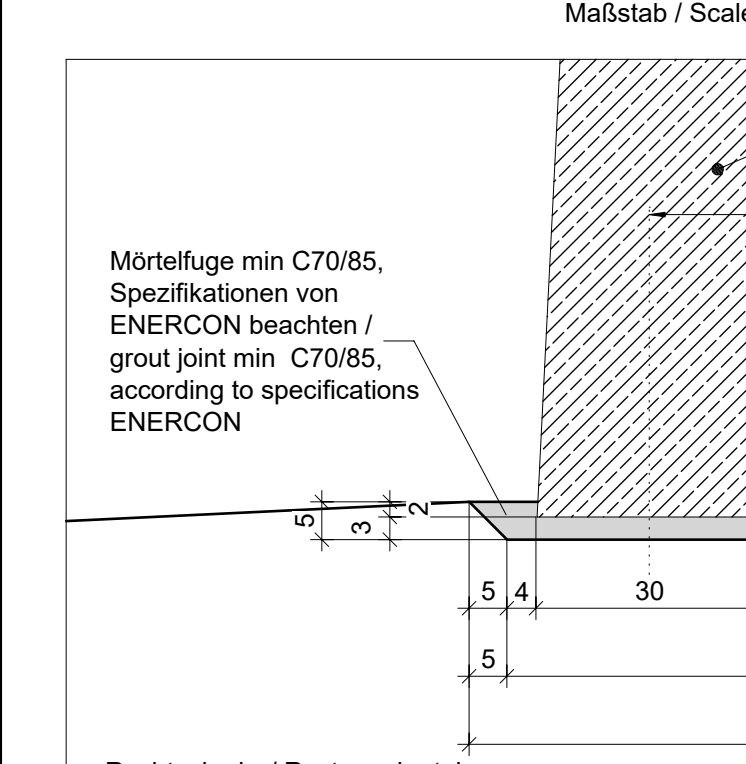
H=0.0m (FOK) Draufsicht / Top view Spanngliedachse / Tendon axis
Maßstab / Scale 1:50



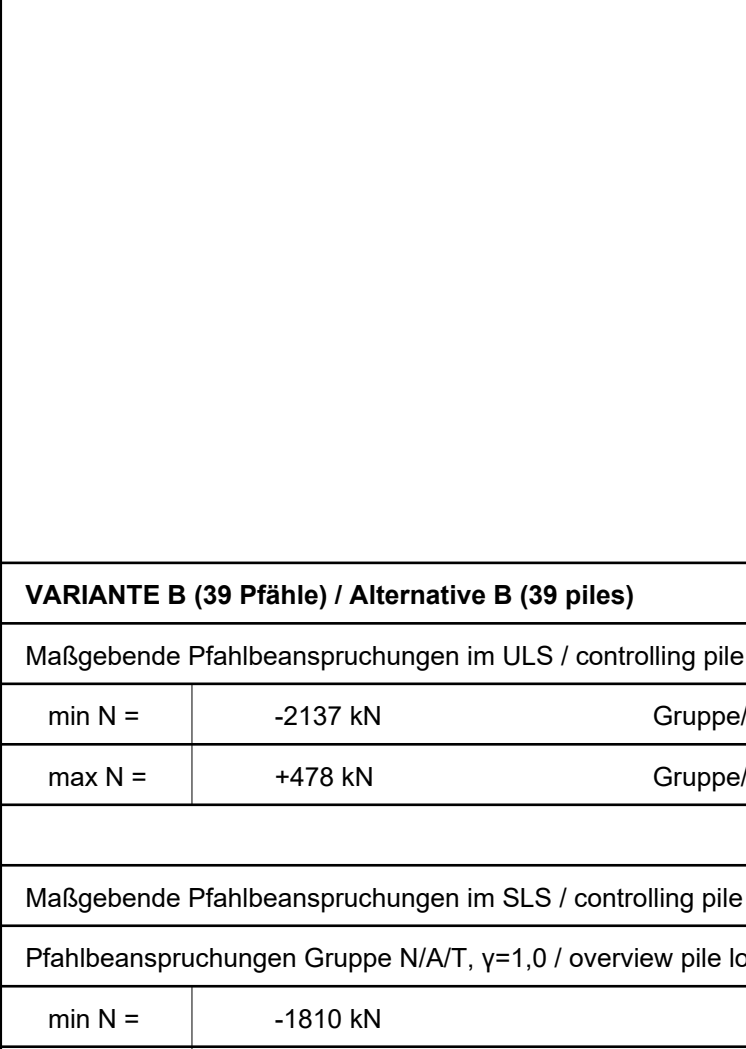
H=-1.628m Draufsicht / Top view Spanngliedachse / Tendon axis
Maßstab / Scale 1:50



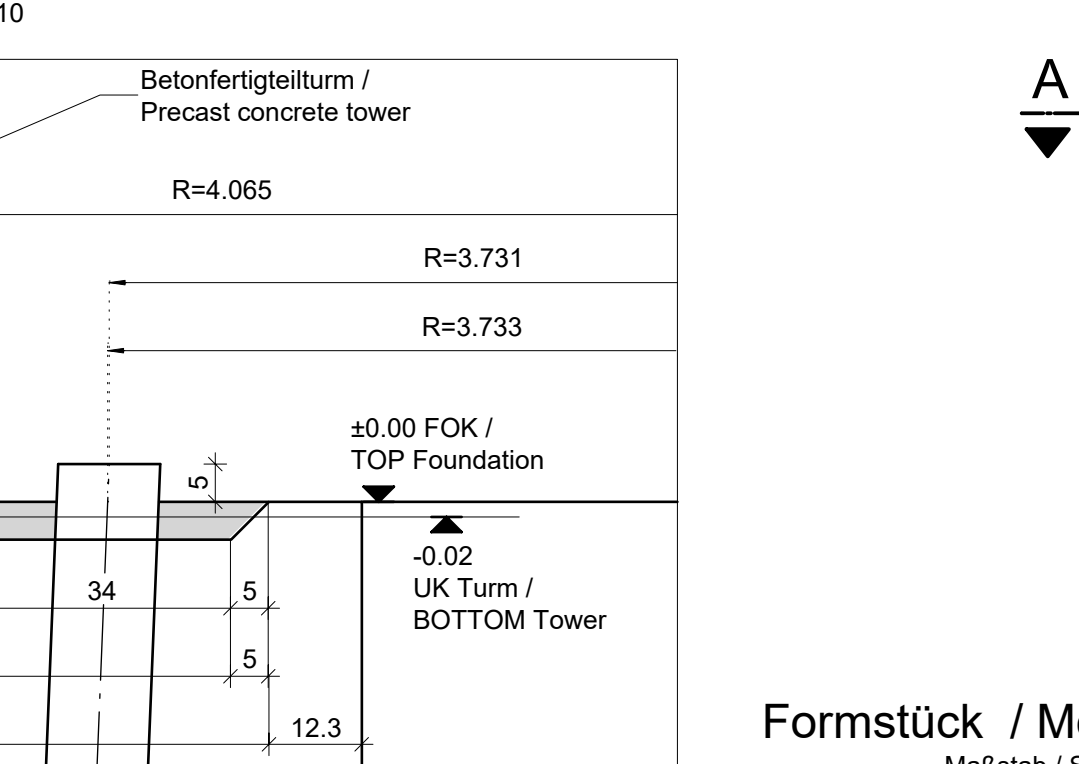
Detail 1
Maßstab / Scale 1:10



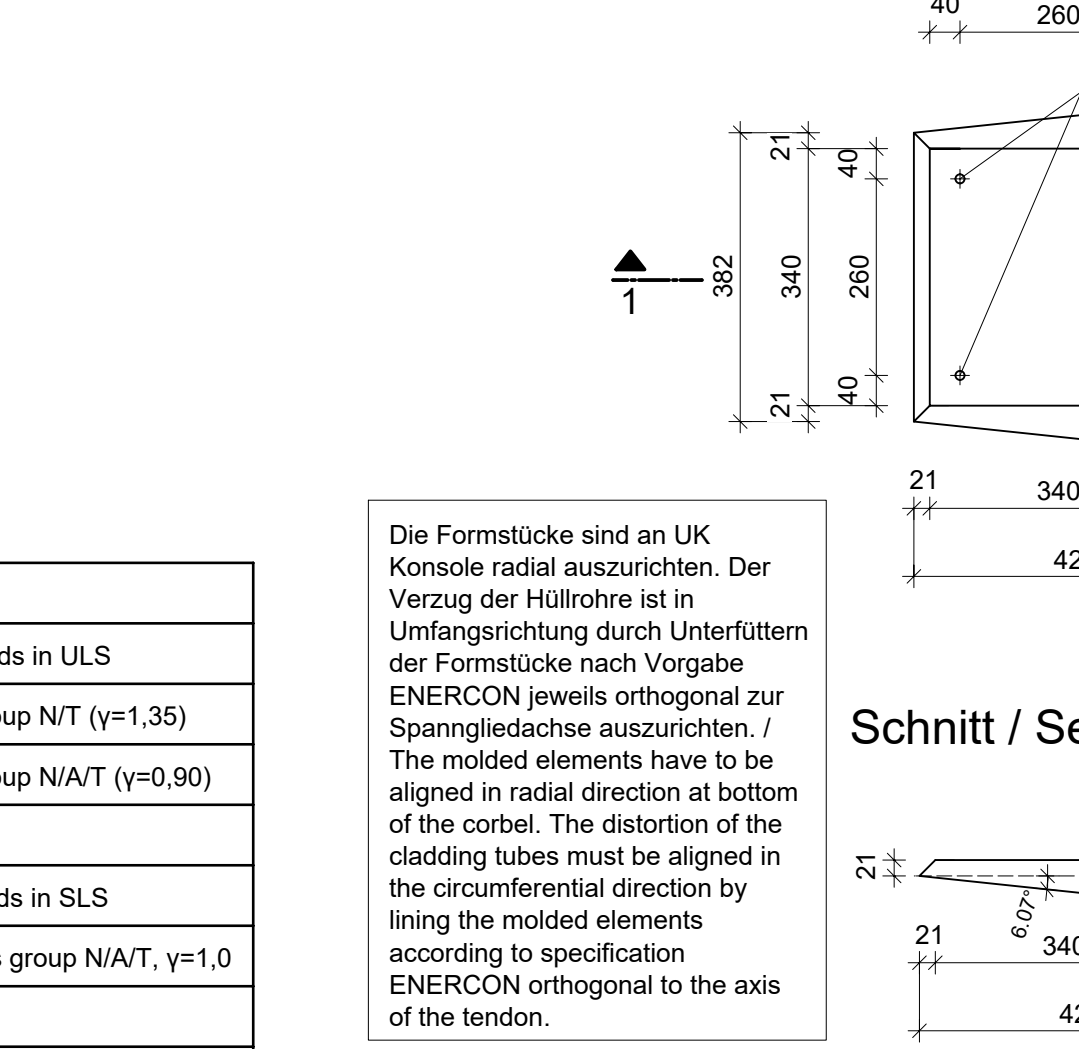
Formstück / Molded element
Maßstab / Scale 1:10



Schnitt / Section B-B
Maßstab / Scale 1:10



Schnitt / Section 1-1
Maßstab / Scale 1:10



VARIANTE B (39 Pfähle) / Alternative B (39 piles)

min N =	-2137 kN	Gruppe/Group N/T (γ=1,35)
max N =	+478 kN	Gruppe/Group N/A/T (γ=0,90)

Maßgebende Pfahlbeanspruchungen im SLS / controlling pile loads in SLS

min N =	-1810 kN
max N =	+243 kN

Pfahlbeanspruchungen Gruppe N/A/T, γ=1,0 / overview pile loads group N/A/T, γ=1,0

min N =	-1810 kN
max N =	+243 kN

Die Formstücke sind ein UK Konsole radial auszurichten. Der Verzug der Hülshöhre ist in Umfangsrichtung durch Unterfüllen der Formstücke nach Vorgabe ENERCON jeweils orthogonal zur Spanngliedachse auszurichten. / The molded elements have to be aligned in radial direction at bottom of the circumferential direction by lining the molded elements according to specification ENERCON orthogonal to the axis of the tendon.

Verdichtete Bodenauffüllung / Compacted backfill:
Die statisch erforderliche dauerhafte Bodenauffüllung ist zum frühestmöglichen Zeitpunkt auf das Fundament aufzutragen und mit geeigneter Verfahren zu verdichten, um die erprobte Mindestbodenschichte im erdberuhenden Zustand zu erreichen. Nach Beendigung des Turmbaus, spätestens jedoch nach vollendeter Montage der Windanlage, muss die verdichtete Bodenauffüllung auf dem Fundament vorhanden sein. Mit dem Aufbringen der Aufwindhülle darf nicht bei der Betriebsleistung gearbeitet werden. Bei prognostizierten extremen Windbedingungen > 21 m/s (Baufort 8) sind vorzeitig entsprechende Maßnahmen zu treffen.

The permanent backfill required for structural reasons must be applied to the foundation at the earliest possible time, and must be compacted by appropriate methods to attain the specified minimum soil weight in earth-rest condition. After finishing the tower construction, but at the latest after the completed installation of the wind turbine, the compacted backfill must be available on the foundation. It is not permitted to apply the compacted backfill just before putting the wind turbine into operation. In the event of forecasted extreme wind conditions > 21 m/s (Baufort 8) are predicted, appropriate measures must be taken in advance.

Abmessungen:
- Zwischen Baugrund und Fundament ist eine Bauberkeitschicht C12/15 anzuordnen.
- Für den Unterbau (Baugrund) sind die Anforderungen nach DIN 18202 bezüglich der Ebenheit einzuhalten.
- Ausführung Unterbau (Baugrund) nach Spezifikation ENERCON.
- Die Art der Verdichtung ist aus statischer Sicht erforderlich, die Mindestwerte der Wichte des Verdichtungsmaterials sind anzuhalten.
- Die Einlage des Fundamentes sowie der Verlauf der Leitungsachse nach Angabe ENERCON.
- Im Bereich der Einbauelemente (Festanker) ist der Beton sorgfältig zu verdichten. Luftschichten sind zu vermeiden.
- Die Mindestbetondeckung ist zum Zeitpunkt der Verpressung muss die Mindestbetondeckung C30/37 entsprechen.
- Ein Schweißen der Bewehrungsstäbe, auch Hochleistungsstähle sind zulässig.
- Es sind ausreichende Betondeckung und Ritzlöcher anzuordnen. Bewehrungsstäbe sind ggf. lokal zu verankern.
- Es ist ein Beton mit niedriger Hydratationsentwicklung zu verwenden.
- Die Frischbetonmischungen sind standortabhängig von einem Betontechnologen festzulegen.
- Für alle Betongänge bei niedrigen Temperaturen ist in jedem Fall ein Betonheizung herbeizuführen.
- Für den Fundamentbau sind die Anforderungen an die Nachbehandlung gemäß DIN EN 13670 mit dem zusätzlichen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.
- Die Arbeitsfuge zwischen Bodenauffüllung und Fundamentsockel ist nach DIN EN 1992-1-1 mind. rau (µ_{0,7}) auszuführen.
- Bei der Bauausführung ist DIN EN 13670 in Kombination mit den zugehörigen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.

Bei der Bauausführung ist DIN EN 13670 in Kombination mit den zugehörigen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.
- Die Materialspezifikation Beton (DIN 18181) von der ENERCON GmbH ist zu beachten.
- Die ENERCON-Spezifikationen und Technischen Anweisungen zur Herstellung von Fundamenten sind zu beachten in den statischen Nachweisen zur Restriktion wurde ein reduzierter Wert f_{ct,eff} = 0,75 f_{cm} für einen Zugszug angesetzt. Dies ist bei der Festlegung des Betons, der Bewehrung und der Nachbehandlung gemäß DIN EN 13670 in Kombination mit dem nationalen Anwendungsregeln zu berücksichtigen und mit dem verantwortlichen Betontechnologen abzustimmen.
- Die Arbeitsfuge zwischen Bodenauffüllung und Fundamentsockel ist nach DIN EN 1992-1-1 mind. rau (µ_{0,7}) auszuführen.
- Bei der Bauausführung ist DIN EN 13670 in Kombination mit den zugehörigen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.
- Zwischen Subsoil und Base eine Bindungsschicht C12/15 ist erforderlich.
- Für die Subsoil (Baugrund) sind die Anforderungen der ENERCON GmbH zu beachten.
- Die Art der Verdichtung ist statisch notwendig, die Mindestwerte der Unit weight of the filling material must be met.
- Die Einlage des Fundamentes sowie der Verlauf der Leitungsachse nach Angabe ENERCON.
- In the area of the mounting parts (passive anchor) the concrete is to be compacted carefully, avoid air inclusions.
- The minimum concrete compressive strength at the time of pressing must be equal to concrete compressive strength class C30/37.
- A welding of the reinforcement bars, including cast irons are not allowed.
- The concrete has to be placed by using installation tubes or hoses (maximum drop height = 50cm).
- There is to apply a concrete with low hydration development.
- The properties of the used concrete, based on location, have to be determined by a concrete technologist.
- For concrete casting at low temperatures a concrete heating technology is to be used, in each case.
- For the foundation concrete the curing requirements according to DIN EN 13670 in combination with the national application rules have to be considered.
- Construction joint between base plate and foundation pile has to be carried out min. rough (µ_{0,7}) acc. to DIN 1992-1-1.
- For the construction DIN EN 13670 in combination with the associated national application rules has to be observed.
- In the static crack width evidence, a reduced value f_{ct,eff} = 0,75 f_{cm} for an early constraint was used. This must be taken into account in the specification of the concrete, the concreting and the aftertreatment and agreed with the responsible concrete technologist.

Barmaße:
- Die Rahmenweite der Baugrubenarbeiten und mit einer Höhe h=0,80m auszuführen.
- Die Anforderungen und Anmerkungen im Fundamentblatt sind zu beachten.
- Plektrumplattform:
- Die plektrumplattform muss auf dem Top ground level und mit einer Höhe h=0,80m.
- Die Anforderungen und Anmerkungen in der foundation data sheet must be observed.

Baugrubenanforderungen:
- Die Baugrubenanforderungen sind von einem ortsberechtigten Baugrubengutachter standortbezogen zu bestätigen.
- Der maximale Grundwasserspiegel liegt auf Höhe der Geländeoberkante.
- Stützkonstruktion:
- Die Anforderungen der Subsoil sind zu verifizieren durch einen geotechnischen Experten vor Ort.
- The maximum permissible soil water level is at height of the ground level.

Spannverfahren / prestressing system:
Z-13.3-110, Z-13.3-143
VT-CAM 0404-165 KD 1820 1B
ETA-109089
BWR-VT CCNA CMS SP 0404 06-150 1860 1C

Die Hüllrohre der Spannrohre sind in ihrer Lage genau einzuzeichnen und zu fixieren. Abweichungen der Spannrohre von der Soll-Lage sind auf den Wert Δa=0,3 zu begrenzen. / The position of the cladding tubes for the prestressing tendons shall be exactly calibrated and fixed. Deviations of the tendon axis from the intended axis have to be limited to Δa = 0,3.

An den Spannrohrführungen ist sicherzustellen, dass die Lizenzen im Bereich der fertigen Hülshöhre nicht anliegen. Dies ist nach dem Vorspannen vor Ort zu überprüfen und die Ergebnisse der Bauberkeitschicht zu dokumentieren. / At the leadthrough of the tendons it is to be ensured that the strands in the region of the precast duct are not applied. After tensioning this has to be checked on site and the result has to be noted in the construction document.

Zugehörige Zeichnungen / respective design drawings:
Zugehörige statische Berechnungen / respective design calculation
Sonder-Nr. / drawing no.:
Bewehrungsplanung / reinforcement drawing no.:
Baugrubengutachten / geotechnical assessment no.:
Spezifikation / specification:
Tabelle / table:
E19-048_D0392749

ENERCON GmbH
29605 Aachen
Germany

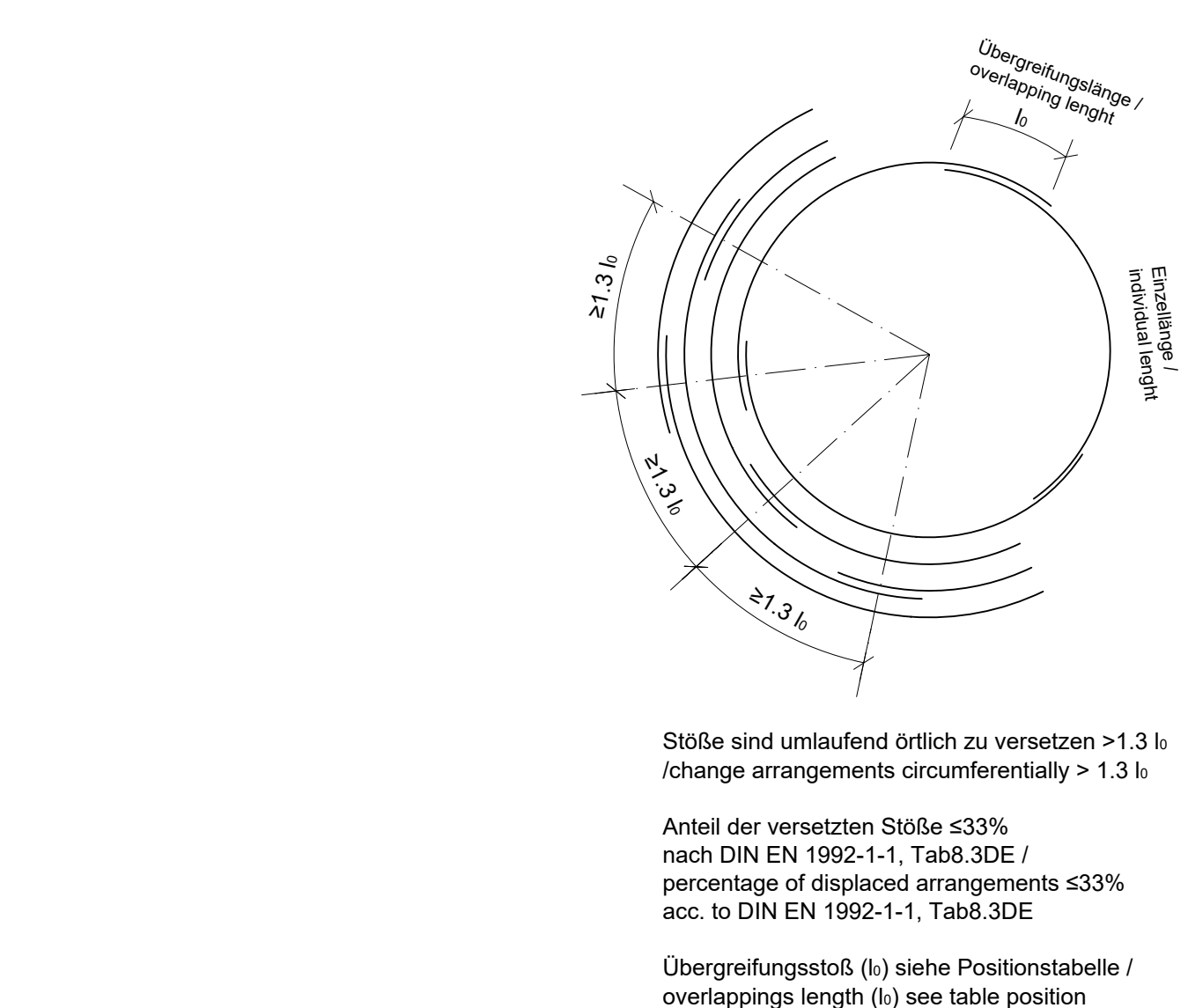
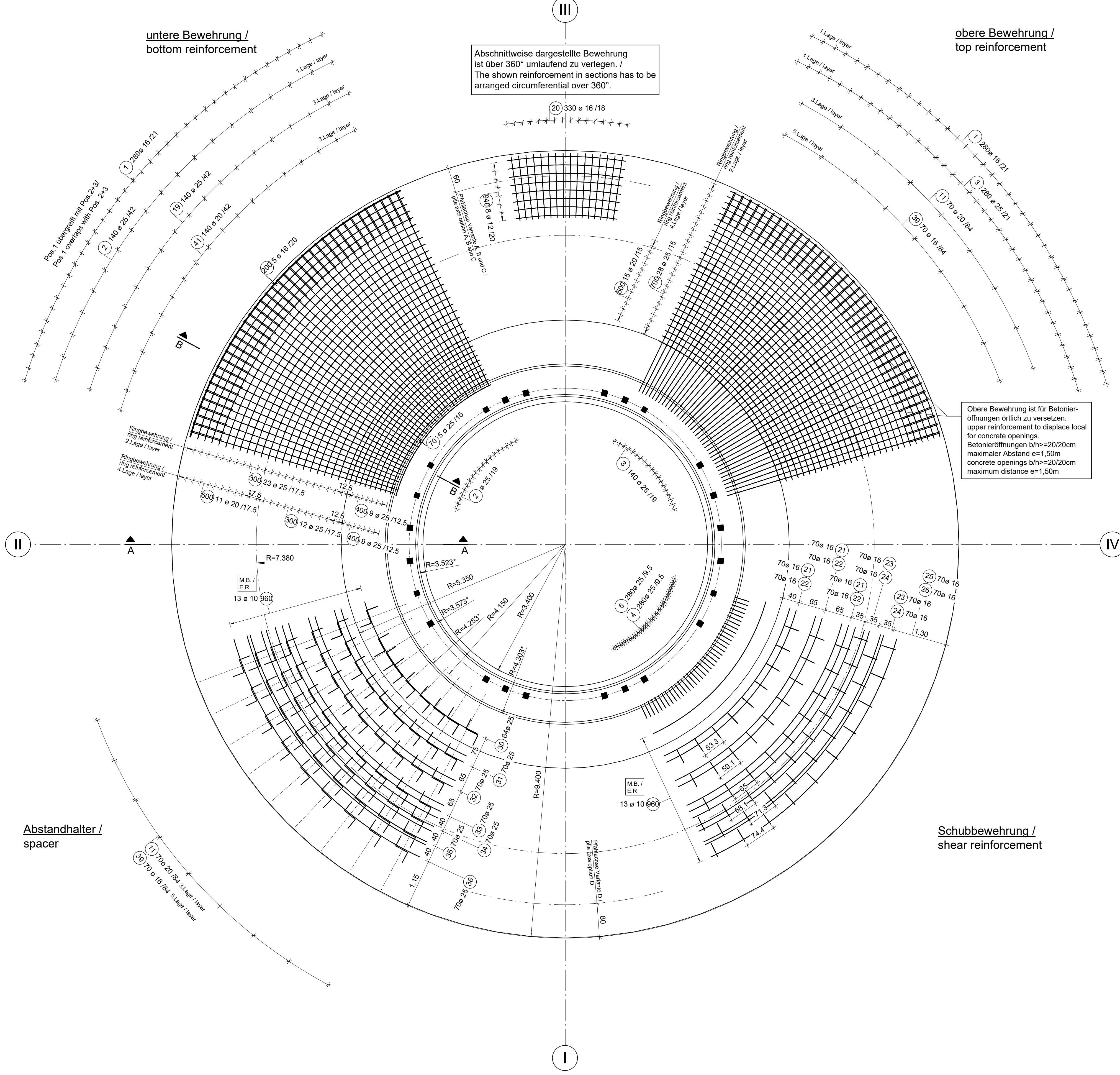
HP Ingenieurbüro GmbH
Kadasterstraße 10
52072 Aachen
Germany

Prüfung / Certification:
-2 Ergänzung Zulassung Spannverfahren & Anpassung Planblätter 18.01.2021 VV
-1 Berücksichtigung von TÜV-Anmerkungen 15.09.2020 VV
Hole date: Änderungen: Datum: Geprüft: zpp
Prüfer/ Certification Body: TÜV NORD CERT

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung
Nr.: T-7016/20-2 Rev. 0
vom: 19. März 2021

Project Information:
Project: E-115 EP3 HT-135-ES-C-01
Teilungung mit Teilabschnitt (TgTa) Ø18,80m
Deep foundation with partly buoyancy (DwpB) Ø18,80m
Sektor / Location:
approved / prepared: 08.11.2019 VV
approved / prepared: 08.11.2019 AS
approved / prepared: 08.11.2019 GO
Maßstab / scale: Plan-Nr. / plan no.:
Bauplan/Skizzen: Blatt/Skizzen: Projekt-Nr. / project number:
wie angezeigt / as shown: D0837313-2 A0 E19-048 DwpB

Draufsicht Fundamentsporn / Top view foundation slope
Maßstab / Scale 1:50



Detail Schutzkappe / protection cap

Schutzkappe temporär auf die Enden aller aufrecht stehenden Betonstähle aufstecken. Vor dem Betonieren sind alle Schutzkappen wieder zu entfernen. / A safety cap must be set temporarily onto the endings of all upright steel bars. Before pouring the concrete, all protection caps must be removed.

Stöße sind umlaufend örtlich zu versetzen >1.3 l (change arrangements circumferentially > 1.3 l)

Anteil der versetzten Stöße $\le 33\%$ nach DIN EN 1992-1-1, Tab.8.3DE / percentage of displaced arrangements $\le 33\%$ acc. to DIN EN 1992-1-1, Tab.8.3DE

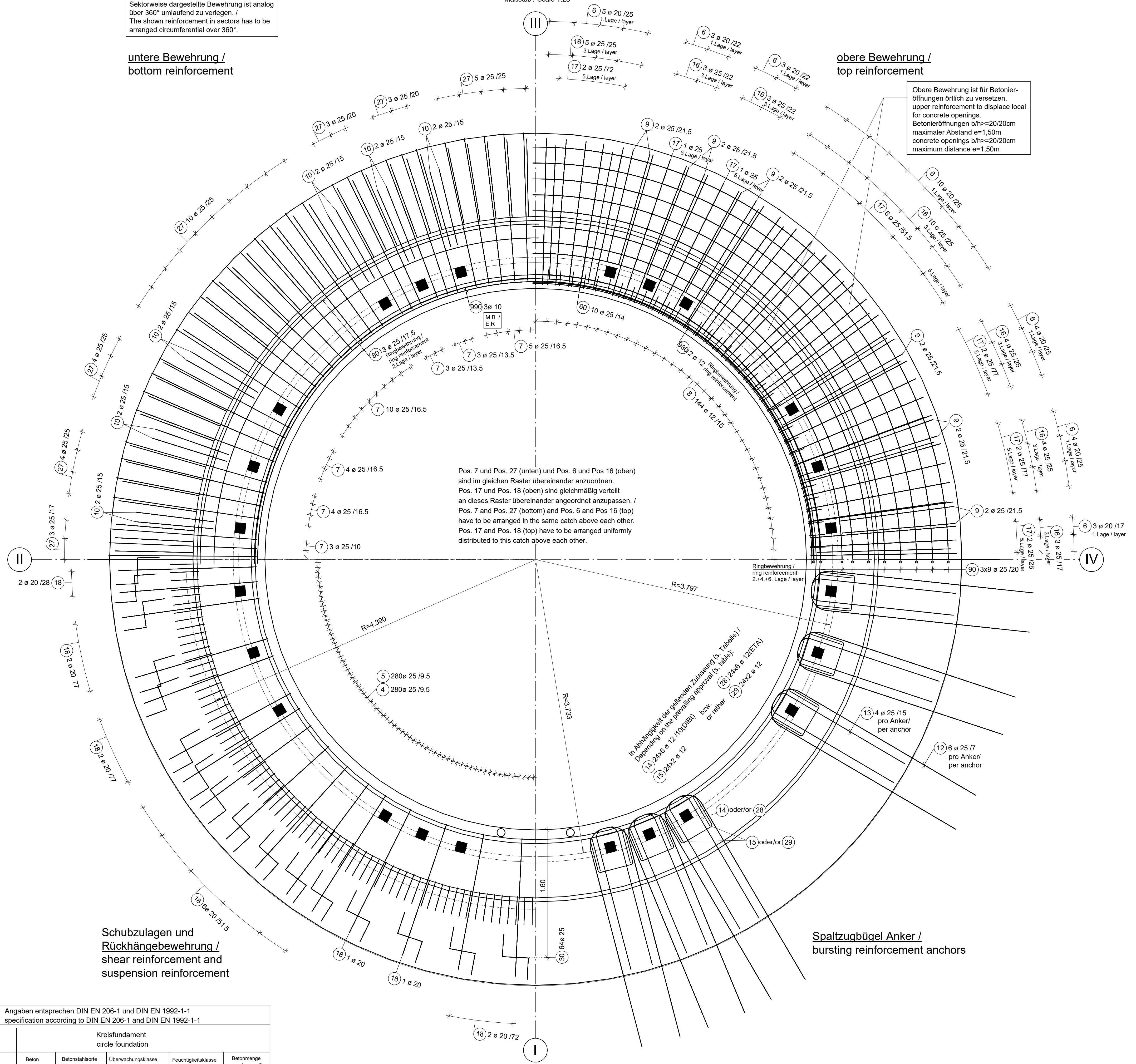
Übergriffsstöße (b) siehe Positionstabelle / overlappings length (b) see table position

Abchnittsweise dargestellte Bewehrung ist über 360° umlaufend zu verlegen. / The shown reinforcement in sections has to be arranged circumferential over 360°.

Obere Bewehrung ist für Betonieröffnungen örtlich zu versetzen, upper reinforcement to displace local for concrete openings. Betonieröffnungen $b \times h > 20/20\text{cm}$ maximaler Abstand $e = 1,50\text{m}$ concrete openings $b \times h > 20/20\text{cm}$ maximum distance $e = 1,50\text{m}$

Obere Bewehrung ist für Betonieröffnungen örtlich zu versetzen, upper reinforcement to displace local for concrete openings. Betonieröffnungen $b \times h > 20/20\text{cm}$ maximaler Abstand $e = 1,50\text{m}$ concrete openings $b \times h > 20/20\text{cm}$ maximum distance $e = 1,50\text{m}$

Bewehrung Konsole / Reinforcement corbel
Maßstab / Scale 1:25



Sektorweise dargestellte Bewehrung ist analog über 360° umlaufend zu verlegen. / The shown reinforcement in sectors has to be arranged circumferential over 360°.

Obere Bewehrung ist für Betonieröffnungen örtlich zu versetzen, upper reinforcement to displace local for concrete openings. Betonieröffnungen $b \times h > 20/20\text{cm}$ maximaler Abstand $e = 1,50\text{m}$ concrete openings $b \times h > 20/20\text{cm}$ maximum distance $e = 1,50\text{m}$

Pos. 7 und Pos. 27 (unten) und Pos. 6 und Pos. 16 (oben) sind im gleichen Raster übereinander anzuordnen. Pos. 17 und Pos. 18 (oben) sind gleichmäßig verteilt an dieses Raster übereinander angeordnet anzupassen. / Pos. 7 and Pos. 27 (bottom) and Pos. 6 and Pos. 16 (top) have to be arranged in the same catch above each other. Pos. 17 and Pos. 18 (top) have to be arranged uniformly distributed to this catch above each other.

Spaltzugbügel Anker / bursting reinforcement anchors

Angaben entsprechen DIN EN 206-1 und DIN EN 1992-1-1 specification according to DIN EN 206-1 and DIN EN 1992-1-1

Kreisfundament circle foundation				
Bauart element	Beton concrete	Betonstahlrohr reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Betormenge concrete quantity (m³)
Kreislager- fundament / circular ring foundation	C30/37	B 500B	ÜK2	412,1
Bodenplatte foundation bottom	C30/37			40,8
Expositionskategorie exposure class		außen / external XC4, XF1, XF1	innen / internal XC3	

Betondeckung / concrete cover		15 mm
Vorhalten / allowance	d über innen internally	40 mm
Mindestwert Verbleibende T. Bewehrungslage	außen outside	50 mm
normal dimension of concrete cover for the 1. reinforcement layer	seitlich sideways	50 mm

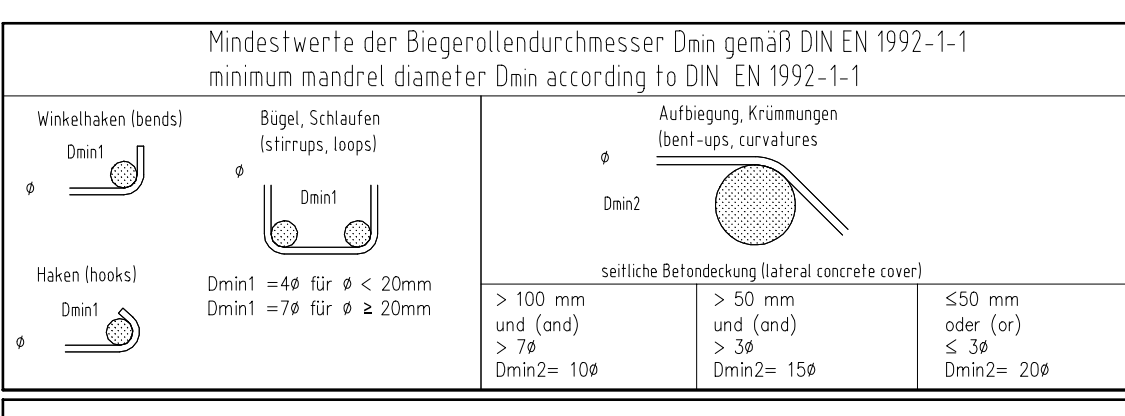
Besondere Anforderungen / special requirements

Goldkorn im Bereich der unteren und oberen Bewehrungslage und in der Konsole nominal value of maximum grain size aggregates by bottom and upper reinforcement layer in the corbel	16 mm
Goldkorn im mittleren Fundamentbereich nominal value of maximum grain size aggregates in the other parts	32 mm
Zement mit niedriger Hydratationswärmefreisetzung value of cement with low hydration heat	NW / (LH)
Konsistenzklasse / consistency classes	F3 / S3
Im Bereich der Konsole (unten) / in the area of the corbel (bottom)	F4

The DBV data sheet "concrete cover and concrete reinforcement" and "spacer" have to be considered

Saubereckschicht blinding layer				
Bauart element	Beton concrete	Betonstahlrohr reinforcement steel	Überwachungskategorie monitoring class	Betormenge concrete quantity (m³)
	C12/15			29,0
Expositionskategorie exposure class		außen / external X0	innen / internal X0	

Besondere Anforderungen / special requirements



Spannverfahren / prestressing system:
Z 13.3.110 Z 13.3.143
TCMB 0404-165 KD 1200 18
ETA-10005
BRV VON CMB SP 0404 06-150 1800 1C

Die Höhe der Spannanker und in ihrer Lage genau einmessen und zu fixieren. Abweichungen der Spannlagelänge von der Sollage sind auf den Wert der 0,3" zu begrenzen. / Position of the ducts for the prestressing tendons shall be exactly calibrated and fixed. Deviations of the tendon axis from the intended axis have to be limited to 0,3".

An den Spannankeröffnungen ist sicherzustellen, dass die Litzen im Bereich der ersten Litzenhöhe nicht abreißen. Das ist nach dem Verspannen vor Ort zu überprüfen und das Ergebnis in der Bauwerksakte zu dokumentieren. / At the bedroofs of the tendons it is to be ensured that the strands in the region of the one-plyed duct are not applied. After tensioning this has to be checked on site and the result has to be noted in the construction document.

Abmessen:
Zwischen Baugrund und Fundament ist eine Saubereckschicht C12/15 anzuordnen.
Für den Unterbau (Saubereckschicht) sind die Anforderungen nach DIN 18202 bezüglich der Ebenheit einzuhalten. Ausführung Unterbau (Saubereckschicht) nach Spezifikation ENERCON.
Die Auflast des Verfüllmaterials ist aus statischer Sicht erforderlich, die Mindestwerte der Wichte des Verfüllmaterials sind einzuhalten.
Die Erdung des Fundamentes sowie der Verlauf der Leitungsableiter nach Angabe ENERCON.
Im Bereich der Einbauten (Festanker) ist der Beton sorgfältig zu verschütten. Luftschnecken sind zu vermeiden. Die Mindestbetondeckung zum Zeitpunkt der Vorpumpung muss der Betondeckungskategorie C30/37 entsprechen.
Ein Schweißen der Bewehrungsstäbe, auch Heftschweißungen sind unzulässig.
Es sind ausreichend Beton- und Ribbelstufen anzuordnen. Bewehrungsstäbe sind ggf. lokal zu versetzen.
Der Beton ist mit Hilfe von Einbauten oder -schläuchen einzulagern (maximale Fallhöhe 50cm).
Es ist ein Beton mit niedriger Hydratationswärmefreisetzung zu verwenden.
Die Frischbetoneigenschaften sind standortabhängig von einem Betontechnologen festzulegen.
Für eine Betondecke bei niedrigen Temperaturen ist in jedem Fall ein Betondeckungsnetz anzubringen.
Für den Fundamentbau und die Änderungen sind die Nachbehandlung gemäß DIN EN 13070 mit den zusätzlichen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.
Die Arbeitsfuge zwischen Bodenplatte und Fundamentsockel ist nach DIN EN 1992-1-1 mind. rau (p40,7) auszuführen.
Die der Bewehrung ist DIN EN 13070 in Kombination mit den zugehörigen nationalen Anwendungsregeln zu beachten.
Die Materialspezifikation Betonstahl (D01818) von der ENERCON GmbH ist zu beachten.
Die ENERCON-Spezifikationen und Technischen Anweisungen zur Herstellung von Fundamenten sind zu beachten. In den statischen Nachweisen zur Risikoreduzierung wurde ein reduzierter Wert für $f_{ct,red}$ für einen Zwang angesetzt. Dies ist in der Fertigung des Betons, der Betondecke und der Nachbehandlung zu berücksichtigen und mit dem verantwortlichen Betonhersteller abzustimmen.
General:
Reinforcement shall not be placed by using installation tubes or hoses (maximum drop height = 50cm).
There is to apply a concrete with low hydration development.
The properties of the unset concrete, based on location, have to be determined by a concrete technologist.
For concreting at low temperatures, a concrete technologist is to consult, in each case.
For the foundation concrete the curing requirements according to DIN EN 13070 in addition with the national application rules have to be considered.
Construction joint between base plate and foundation shall be carried out min. rough (p40,7).
For the construction DIN EN 13070 in combination with the associated national application rules has to be observed.
The reinforcement steel material specification (D01818) from ENERCON GmbH has to be used.
The ENERCON foundation specifications and technical instructions for manufacturing of foundations have to be considered.
In the static crack width evidence, a reduced value $f_{ct,red}$ for an early constant was used.
This must be taken into account in the specification of the concrete, the concreting and the aftertreatment and agreed with the responsible concrete technologist.

Zugehörige Zeichnungen / respective drawings			
Zugehörige statische Berechnungen / respective design calculation			
Skizzen Nr. / drawing drawing no.	D083712, D083713, D083714, D083715		
Bewehrungsplanung Nr. / reinforcement drawing no.	D083720, D083721, D083722, D083723		
Rechnerische Statik / structural calculation	D083724, D083725		
Statik / static	E19-048, D083726		

ENERCON GmbH		HP Ingenieure GmbH	
29605 Aachen	Germany	Kadasterstraße 10	52072 Aachen

Zustimmung / approval			
Projekt / project			
-2	Ergänzung Zulassung Spannverfahren	29.12.2020	VV
-1	Bereitsichtigung von TÜV-Anmerkungen	15.09.2020	VV
HPK	Änderung	Datum	Gezeichnet
HPK	change		print

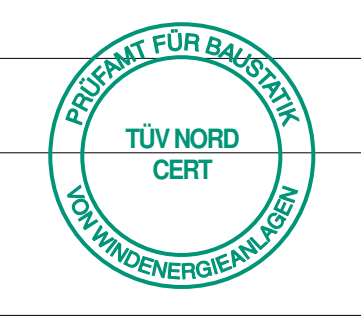
Prüfung / Certification Stamp

Titel / Title: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01
Teilzeichnung mit Teilabschluss (TgTnTa) Ø18,80m
Deep foundation with party Buycancy (DWPB) Ø18,80m

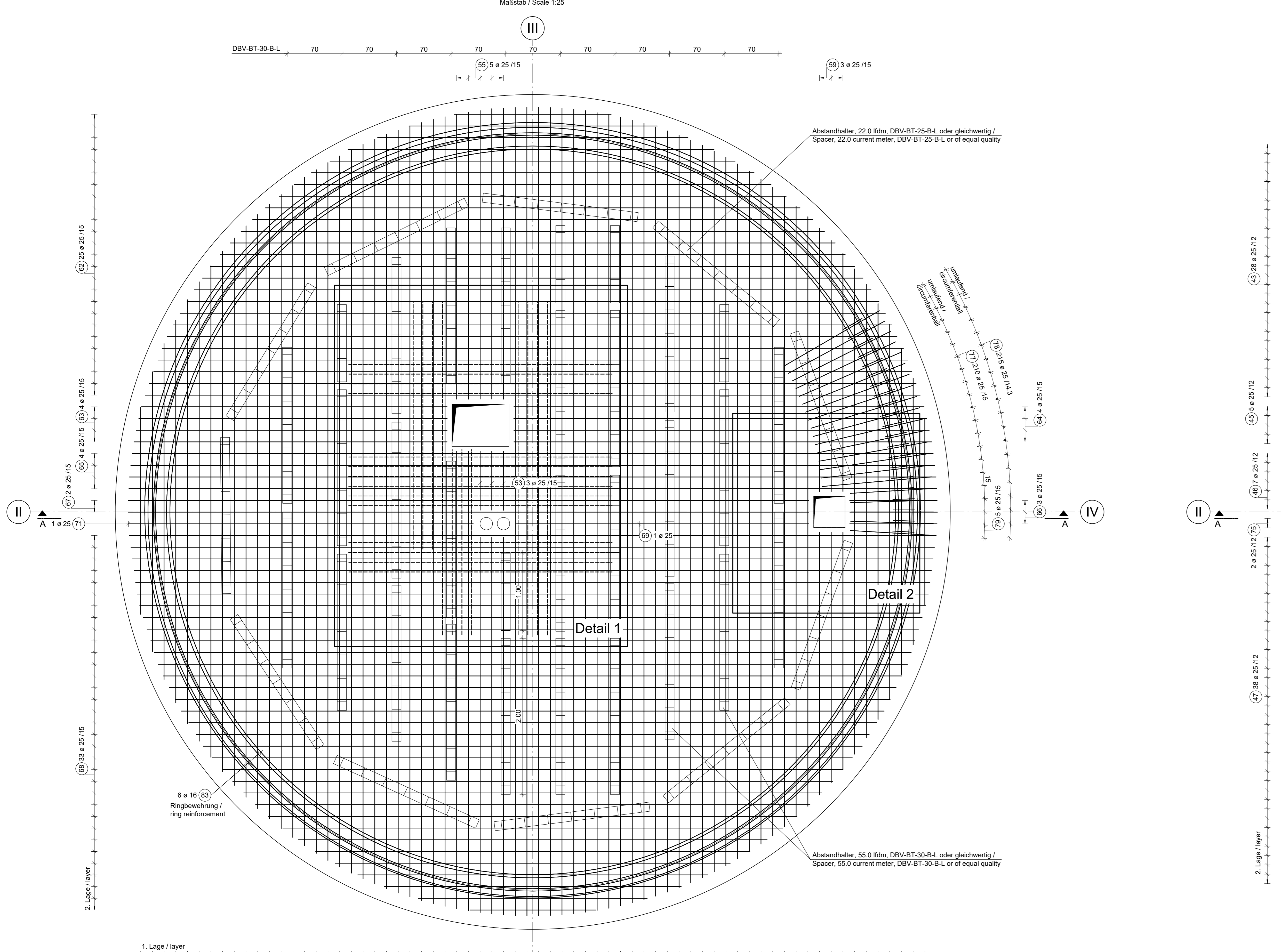
Standort / Location:

Projekt / project: Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung
Nr.: T-7016/20-2 Rev. 0
vom: 19. März 2021

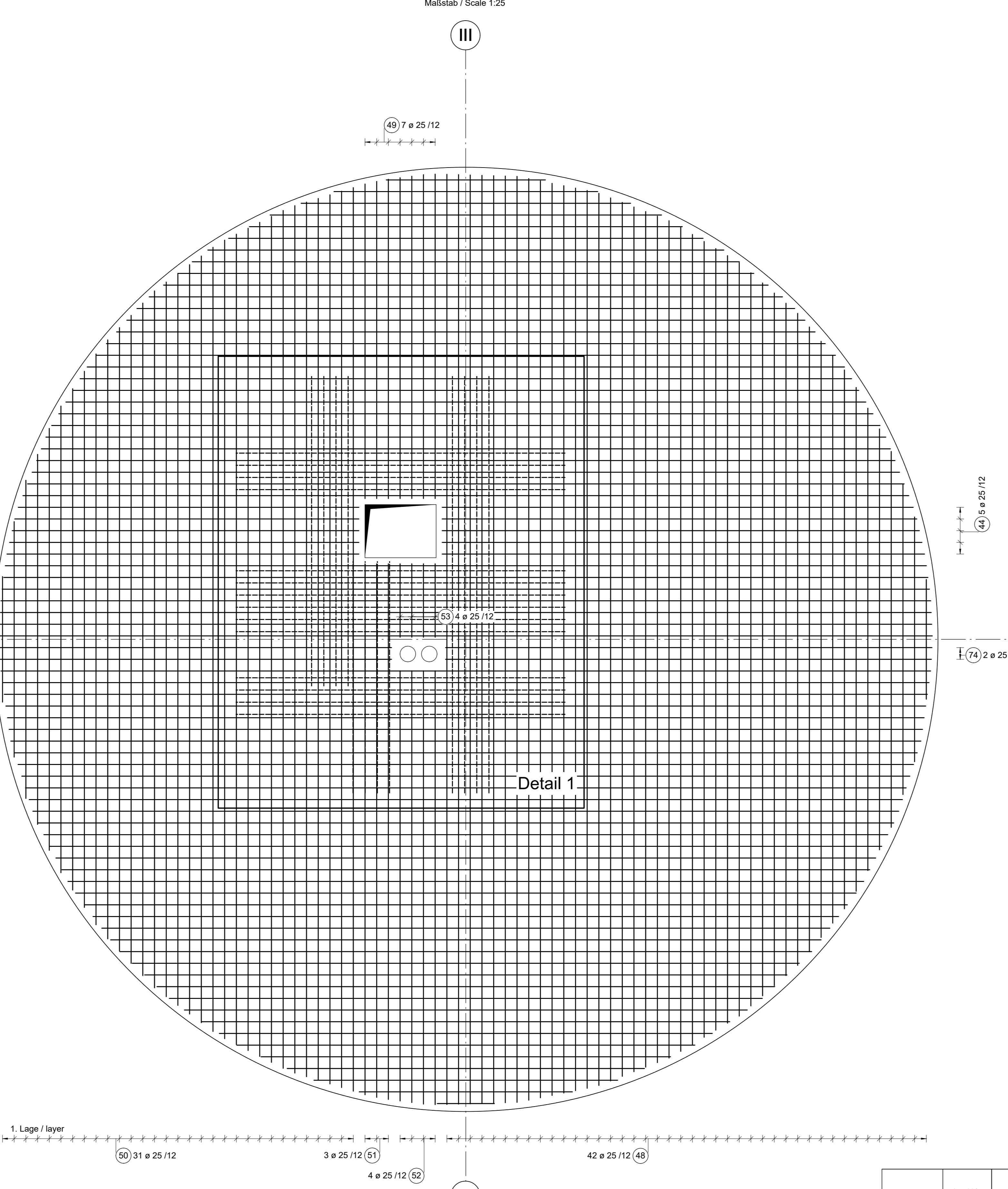
Zustimmung / approval			
Projekt / project			
29.11.2019	VV	29.11.2019	AS
29.11.2019	GO	29.11.2019	GO
Maßstab / scale:	Plan / plan:	Blattgröße / sheet size:	Projekt / project number:
wie angelegt / as shown	D083721-2	841x1189	E19-048 DWPB



Obere Sohlbewehrung und Abstandhalter / Top reinforcement foundation slab and spacers



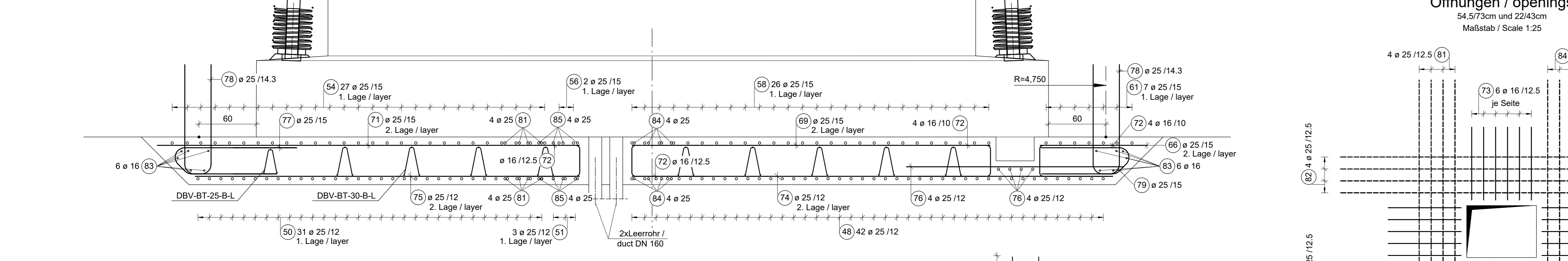
Untere Sohlbewehrung / Bottom reinforcement foundation slab



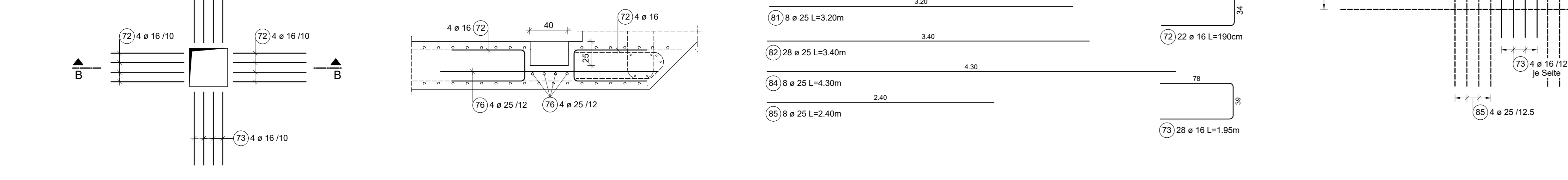
Obere Bewehrung / Top reinforcement

Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.

Schnitt / Cross section A-A



Schnitt / Cross section B-B



Untere Bewehrung / Bottom reinforcement

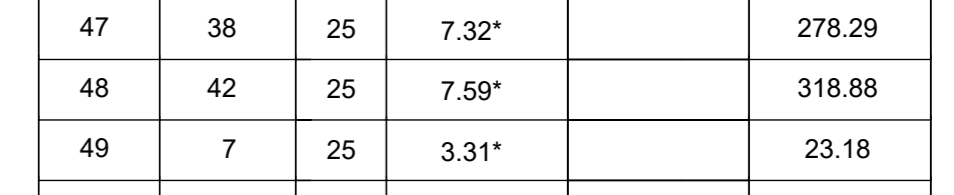
Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.

Obere Bewehrung / Top reinforcement

Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.

Stahlblech Bodenplatte / steel shedule base plate

Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.



GENERAL NOTES: 1. This drawing is part of the foundation design for the... 2. The reinforcement is to be installed according to the specifications...

Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.

Additional technical notes and specifications regarding the foundation and reinforcement details.

Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.



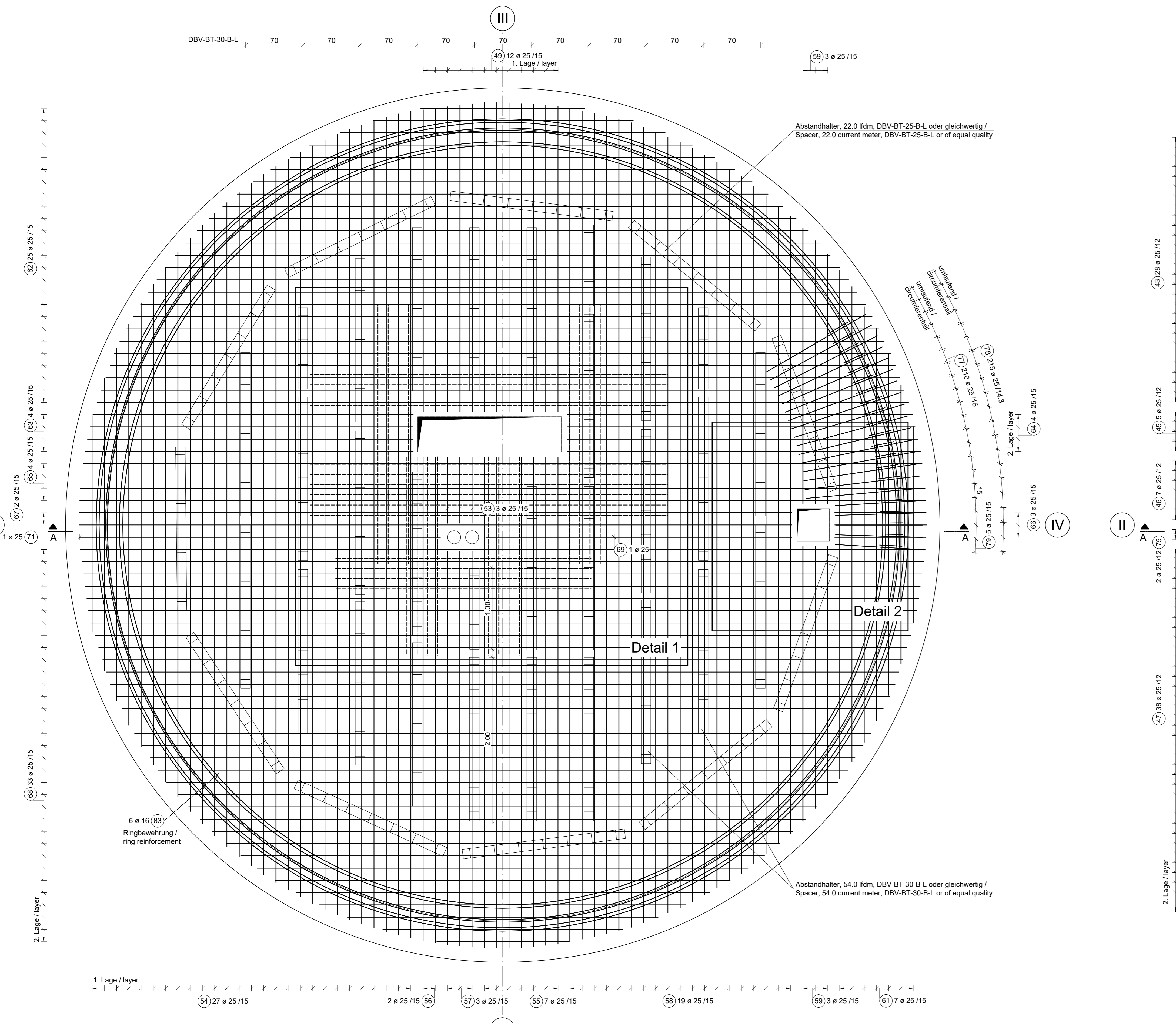
Additional technical notes and specifications regarding the foundation and reinforcement details.

Table with 4 columns: Pos., Anzahl/Number, Länge/length (m), Ges.Länge/total length (m). Multiple tables for different reinforcement layers.

Project information including company logos (ENERCON, HHP), dates, and contact details.

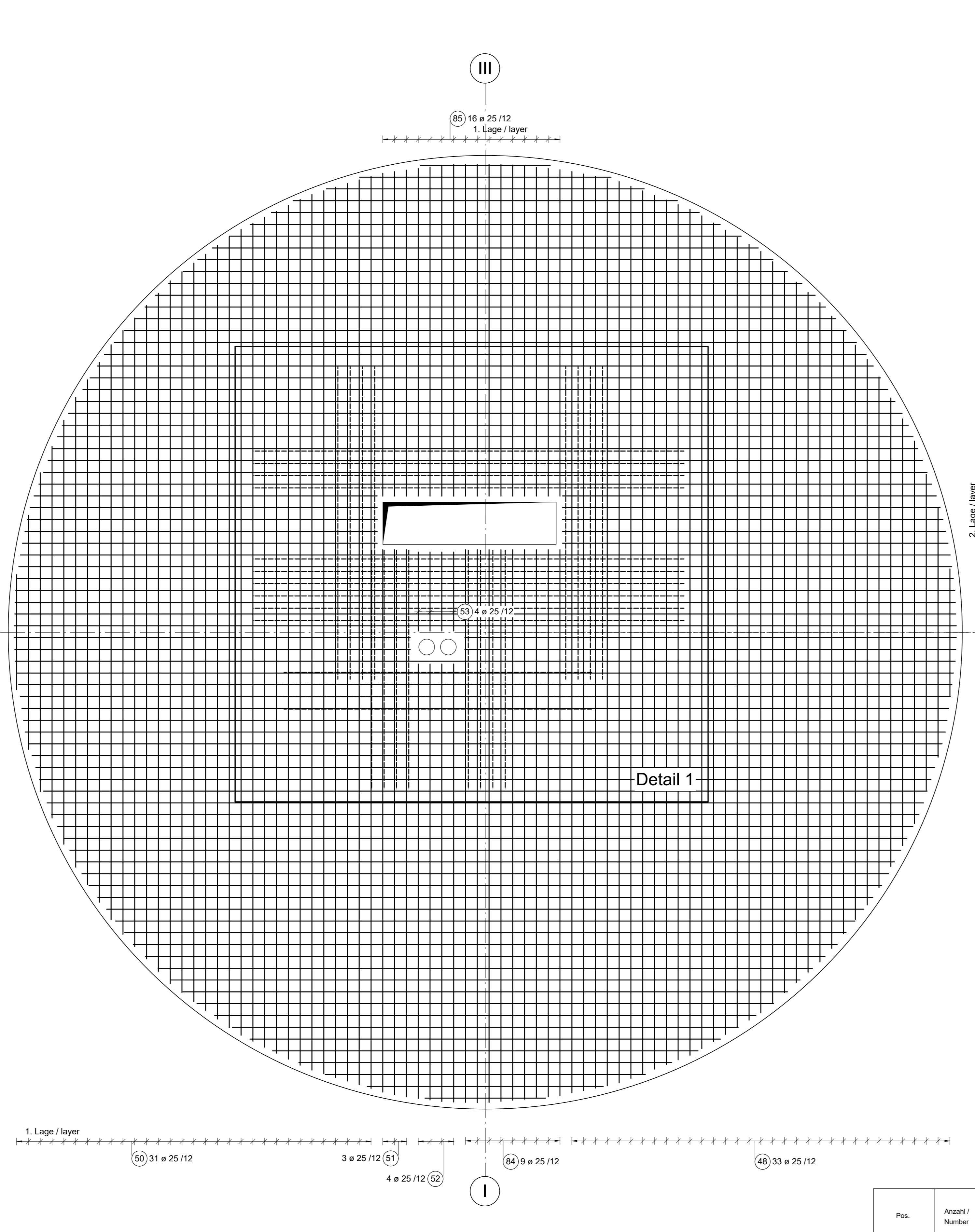
Obere Sohlbewehrung und Abstandhalter /
Top reinforcement foundation slab and spacers

Maßstab / Scale 1:25



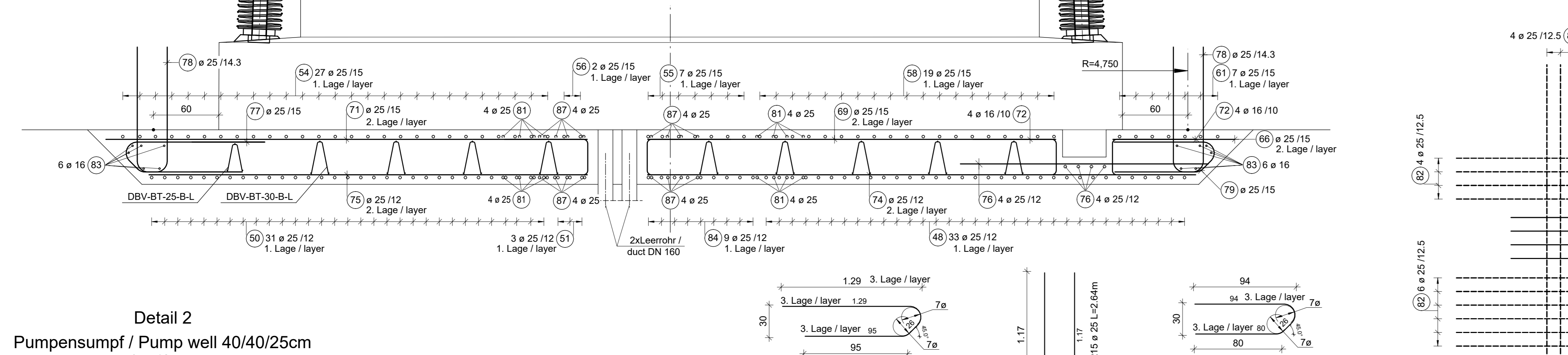
Untere Sohlbewehrung /
Bottom reinforcement foundation slab

Maßstab / Scale 1:25



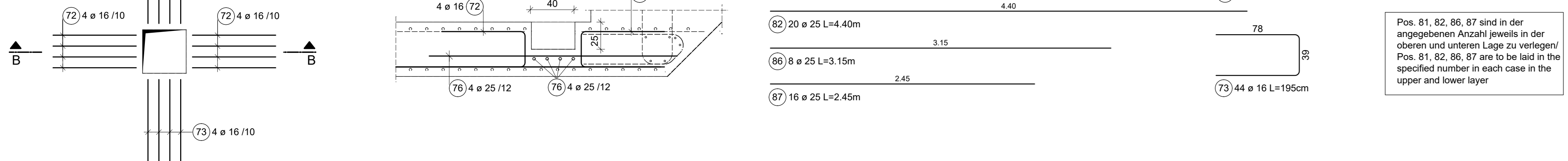
Schnitt / Cross section A-A

Maßstab / Scale 1:25



Schnitt / Cross section B-B

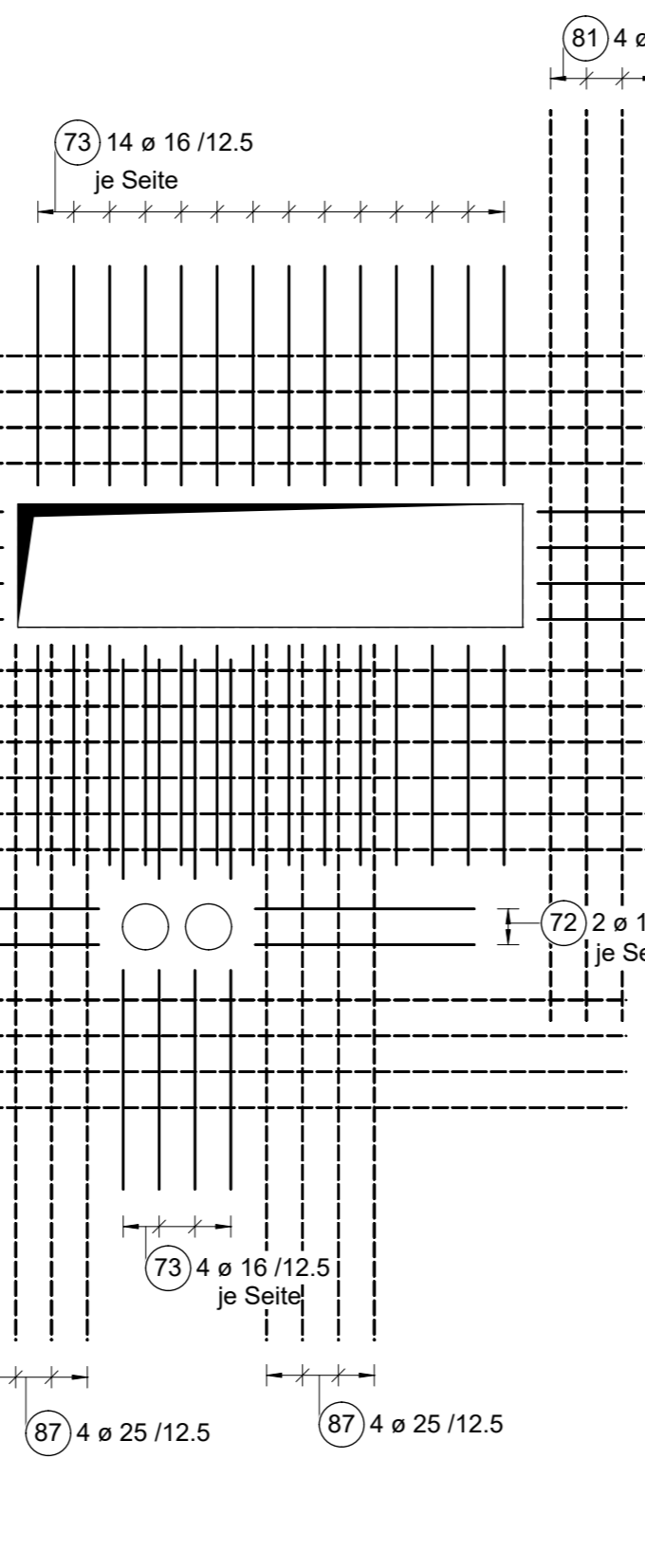
Maßstab / Scale 1:25



Detail 1
Öffnungen / openings

431x130cm and 224x50cm

Maßstab / Scale 1:25



Untere Bewehrung / Bottom reinforcement

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
44.1	1	3.94	3.94
44.2	1	3.92	3.92
44.3	1	3.89	3.89
44.4	1	3.86	3.86
44.5	1	3.83	3.83
Gesamt (m) 19.43			
45.1	1	3.63	3.63
45.2	1	3.61	3.61
45.3	1	3.58	3.58
45.4	1	3.55	3.55
45.5	1	3.51	3.51
Gesamt (m) 17.87			
46.1	1	9.60	9.60
46.2	1	9.59	9.59
46.3	1	9.58	9.58
46.4	1	9.57	9.57
46.5	1	9.54	9.54
46.6	1	9.50	9.50
46.7	1	9.47	9.47
Gesamt (m) 66.83			

Obere Bewehrung / Top reinforcement

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
54.1	1	10.15	10.15
54.2	1	10.08	10.08
54.3	1	10.00	10.00
54.4	1	9.91	9.91
54.5	1	9.80	9.80
54.6	1	9.69	9.69
54.7	1	9.57	9.57
54.8	1	9.44	9.44
54.9	1	9.30	9.30
54.10	1	9.14	9.14
54.11	1	8.97	8.97
54.12	1	8.79	8.79
54.13	1	8.59	8.59
54.14	1	8.38	8.38
54.15	1	8.15	8.15
54.16	1	7.91	7.91
54.17	1	7.64	7.64
54.18	1	7.35	7.35
54.19	1	7.04	7.04
54.20	1	6.70	6.70
54.21	1	6.33	6.33
54.22	1	5.91	5.91
54.23	1	5.46	5.46
54.24	1	4.94	4.94
54.25	1	4.33	4.33
54.26	1	3.61	3.61
54.27	1	2.88	2.88
Gesamt (m) 209.81			
55.1	1	5.98	5.98
55.2	1	6.00	6.00
55.3	1	6.01	6.01
55.4	4	6.02	24.08
Gesamt (m) 42.07			
61.1	1	2.42	2.42
61.2	1	3.44	3.44
61.3	1	4.20	4.20
61.4	1	4.82	4.82
61.5	1	5.36	5.36
61.6	1	5.84	5.84
61.7	1	6.25	6.25
Gesamt (m) 32.32			
66.1	2	1.15	2.30
66.2	1	1.15	1.15
Gesamt (m) 3.44			
67.1	1	4.87	4.87
67.2	1	4.86	4.86
67.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
68.1	1	4.87	4.87
68.2	1	4.86	4.86
68.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
69.1	1	10.38	10.38
69.2	1	10.36	10.36
69.3	1	10.33	10.33
69.4	1	10.29	10.29
Gesamt (m) 41.35			
70.1	1	1.25	1.25
70.2	1	2.42	2.42
70.3	1	3.28	3.28
70.4	1	3.81	3.81
70.5	1	4.35	4.35
70.6	1	4.81	4.81
70.7	1	5.22	5.22
70.8	1	5.53	5.53
70.9	1	5.88	5.88
71.0	1	6.17	6.17
71.1	1	6.42	6.42
71.2	1	6.62	6.62
71.3	1	6.83	6.83
71.4	1	6.94	6.94
71.5	1	7.18	7.18
71.6	1	7.36	7.36
71.7	1	7.54	7.54
71.8	1	7.72	7.72
71.9	1	7.90	7.90
72.0	1	8.08	8.08
72.1	1	8.22	8.22
72.2	1	8.35	8.35
72.3	1	8.47	8.47
72.4	1	8.59	8.59
72.5	1	8.72	8.72
72.6	1	8.84	8.84
72.7	1	8.90	8.90
72.8	1	9.01	9.01
72.9	1	9.08	9.08
73.0	1	9.16	9.16
73.1	1	9.23	9.23
73.2	1	9.31	9.31
73.3	1	9.37	9.37
73.4	1	9.41	9.41
73.5	1	9.44	9.44
73.6	1	9.47	9.47
73.7	1	9.51	9.51
73.8	1	9.54	9.54
73.9	1	9.57	9.57
Gesamt (m) 280.58			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
58.1	1	7.58	7.58
58.2	1	7.83	7.83
58.3	1	8.08	8.08
58.4	1	8.32	8.32
58.5	1	8.55	8.55
58.6	1	8.73	8.73
58.7	1	8.90	8.90
58.8	1	9.08	9.08
58.9	1	9.26	9.26
59.0	1	9.40	9.40
59.1	1	9.52	9.52
59.2	1	9.64	9.64
59.3	1	9.75	9.75
59.4	1	9.87	9.87
59.5	1	9.96	9.96
59.6	1	10.03	10.03
59.7	1	10.10	10.10
59.8	1	10.16	10.16
59.9	1	10.23	10.23
Gesamt (m) 174.95			
59.1	1	3.08	3.08
59.2	1	3.24	3.24
59.3	1	3.40	3.40
59.4	1	3.08	3.08
59.5	1	3.23	3.23
59.6	1	3.39	3.39
Gesamt (m) 19.40			
61.1	1	2.42	2.42
61.2	1	3.44	3.44
61.3	1	4.20	4.20
61.4	1	4.82	4.82
61.5	1	5.36	5.36
61.6	1	5.84	5.84
61.7	1	6.25	6.25
Gesamt (m) 32.32			
66.1	2	1.15	2.30
66.2	1	1.15	1.15
Gesamt (m) 3.44			
67.1	1	4.87	4.87
67.2	1	4.86	4.86
67.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
68.1	1	4.87	4.87
68.2	1	4.86	4.86
68.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
69.1	1	10.38	10.38
69.2	1	10.36	10.36
69.3	1	10.33	10.33
69.4	1	10.29	10.29
Gesamt (m) 41.35			
62.1	1	9.06	9.06
62.2	1	9.85	9.85
62.3	1	9.74	9.74
62.4	1	9.63	9.63
62.5	1	9.53	9.53
62.6	1	9.38	9.38
62.7	1	9.23	9.23
62.8	1	9.07	9.07
62.9	1	8.89	8.89
63.0	1	8.70	8.70
63.1	1	8.49	8.49
63.2	1	8.28	8.28
63.3	1	8.04	8.04
63.4	1	7.78	7.78
63.5	1	7.50	7.50
63.6	1	7.20	7.20
63.7	1	6.88	6.88
63.8	1	6.52	6.52
63.9	1	6.13	6.13
64.0	1	5.70	5.70
64.1	1	5.22	5.22
64.2	1	4.72	4.72
64.3	1	4.00	4.00
64.4	1	3.21	3.21
64.5	1	2.24	2.24
Gesamt (m) 185.63			
63.1	1	4.04	4.04
63.2	1	4.01	4.01
63.3	1	3.98	3.98
63.4	1	3.94	3.94
Gesamt (m) 15.94			
61.1	1	2.42	2.42
61.2	1	3.44	3.44
61.3	1	4.20	4.20
61.4	1	4.82	4.82
61.5	1	5.36	5.36
61.6	1	5.84	5.84
61.7	1	6.25	6.25
Gesamt (m) 32.32			
66.1	2	1.15	2.30
66.2	1	1.15	1.15
Gesamt (m) 3.44			
67.1	1	4.87	4.87
67.2	1	4.86	4.86
67.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
68.1	1	4.87	4.87
68.2	1	4.86	4.86
68.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
69.1	1	10.38	10.38
69.2	1	10.36	10.36
69.3	1	10.33	10.33
69.4	1	10.29	10.29
Gesamt (m) 41.35			
65.1	1	5.99	5.99
65.2	1	5.57	5.57
65.3	1	5.04	5.04
Gesamt (m) 16.60			
51.1	1	5.99	5.99
51.2	1	5.57	5.57
51.3	1	5.04	5.04
Gesamt (m) 16.60			
62.1	1	9.06	9.06
62.2	1	9.85	9.85
62.3	1	9.74	9.74
62.4	1	9.63	9.63
62.5	1	9.53	9.53
62.6	1	9.38	9.38
62.7	1	9.23	9.23
62.8	1	9.07	9.07
62.9	1	8.89	8.89
63.0	1	8.70	8.70
63.1	1	8.49	8.49
63.2	1	8.28	8.28
63.3	1	8.04	8.04
63.4	1	7.78	7.78
63.5	1	7.50	7.50
63.6	1	7.20	7.20
63.7	1	6.88	6.88
63.8	1	6.52	6.52
63.9	1	6.13	6.13
64.0	1	5.70	5.70
64.1	1	5.22	5.22
64.2	1	4.72	4.72
64.3	1	4.00	4.00
64.4	1	3.21	3.21
64.5	1	2.24	2.24
Gesamt (m) 185.63			
63.1	1	4.04	4.04
63.2	1	4.01	4.01
63.3	1	3.98	3.98
63.4	1	3.94	3.94
Gesamt (m) 15.94			
61.1	1	2.42	2.42
61.2	1	3.44	3.44
61.3	1	4.20	4.20
61.4	1	4.82	4.82
61.5	1	5.36	5.36
61.6	1	5.84	5.84
61.7	1	6.25	6.25
Gesamt (m) 32.32			
66.1	2	1.15	2.30
66.2	1	1.15	1.15
Gesamt (m) 3.44			
67.1	1	4.87	4.87
67.2	1	4.86	4.86
67.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
68.1	1	4.87	4.87
68.2	1	4.86	4.86
68.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) 14.58			
69.1	1	10.38	10.38
69.2	1	10.36	10.36
69.3	1	10.33	10.33
69.4	1	10.29	10.29
Gesamt (m) 41.35			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
67.1	1	8.75	8.75
67.2	1	8.75	8.75
Gesamt (m) 17.50			
68.1	1	1.64	1.64
68.2	1	2.96	2.96
68.3	1	3.83	3.83
68.4	1	4.51	4.51
68.5	1	5.09	5.09
68.6	1	5.59	5.59
68.7	1	6.03	6.03
68.8	1	6.43	6.43
68.9	1	6.80	6.80
69.0	1	7.13	7.

Fundamentdatenblatt

Foundation Data Sheet

E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01

Tiefgründung mit Teilauftrieb
Deep Foundation with partly Buoyancy

WZ 3 GK I, GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)
WTC IIA (IEC 61400-1, 3rd Edition, 2005-08)

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung

Nr.: T-7016/20-2 Rev. 0

vom 19. März 2021



Herausgeber	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109 E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Jörg Scholle Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360
Urheberrechtshinweis	Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist. Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten. Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden. Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.
Geschützte Marken	Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.
Änderungsvorbehalt	Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.
Publisher	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Germany Phone: +49 4941 927-0 ▪ Fax: +49 4941 927-109 E-mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Managing Directors: Hans-Dieter Kettwig, Jörg Scholle Local court: Aurich ▪ Company registration number: HRB 411 VAT ID no.: DE 181 977 360
Copyright notice	The entire content of this document is protected by copyright and – with regard to other intellectual property rights – international laws and treaties. ENERCON GmbH holds the rights in the content of this document unless another rights holder is expressly identified or obviously recognisable. ENERCON GmbH grants the user the right to make copies and duplicates of this document for informational purposes for its own intra-corporate use; making this document available does not grant the user any further right of use. Any other duplication, modification, dissemination, publication, circulation, surrender to third parties and/or utilisation of the contents of this document – also in part – shall require the express prior written consent of ENERCON GmbH unless any of the above is permitted by mandatory legislation. The user is prohibited from registering any industrial property rights in the know-how reproduced in this document, or for parts thereof. If and to the extent that ENERCON GmbH does not hold the rights in the content of this document, the user shall adhere to the relevant rights holder's terms of use.
Registered trademarks	Any trademarks mentioned in this document are intellectual property of the respective registered trademark holders; the stipulations of the applicable trademark law are valid without restriction.
Reservation of right of modification	ENERCON GmbH reserves the right to change, improve and expand this document and the subject matter described herein at any time without prior notice, unless contractual agreements or legal requirements provide otherwise.



Dokumentinformation / Document details

Dokument-ID Document ID	D0870410-4
Vermerk Note	Originaldokument Original document

Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2020-09-22	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

Ergänzende Angaben / Additional notes

Angaben zum Original (ger;eng) Original document details		Angaben zur Übersetzung (--) Translation details	
Erstellt/Datum: Created/Date:	Cygon, K. / 2019-09-13	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Meyerhoff, F. / 2019-09-16	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

Revisionen / Revisions

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2019-09-13	Dokument erstellt Document created	KCY
1	2019-11-13	Entwurfsstatus aufgehoben; komplette Anpassung an statische Berechnung, Ergänzung Baugrundaufbau Draft status removed; complete adaptation to the structural calculation, addition of subsoil structure	KCY
2	2019-12-16	Stahlgewicht B400 ergänzt, Bearbeitungsdatum der Statik entfernt Steel weight B400 added, editing date of structural analysis removed	KCY
3	2020-09-22	Stahlgewicht angepasst / Steel weight added	MAB
4	2021-01-20	Lasten Anpassung & Stahlmenge aktualisiert / Loads adjustment and steel weight added	ALC



Dieses Dokument wurde auf Anfrage bzw. für einen bestimmten Auftrag verschickt. Der Empfänger wurde nicht registriert. Der Empfänger wird bei Änderung nicht automatisch informiert.

This document has been forwarded upon request or with regard to a specific order. The recipient has not been registered. The recipient will not be automatically notified about any amendments.

1 Allgemeine Angaben / General information

Typenstatik

H+P Ingenieure GmbH

Design-specific structural analysis

Tiefgründung mit Teilauftrieb

Ø 18,80 m

Deep Foundation with partly Buoyancy

Auftrag Nr.

E19-048 & E20-063.2

Order no.

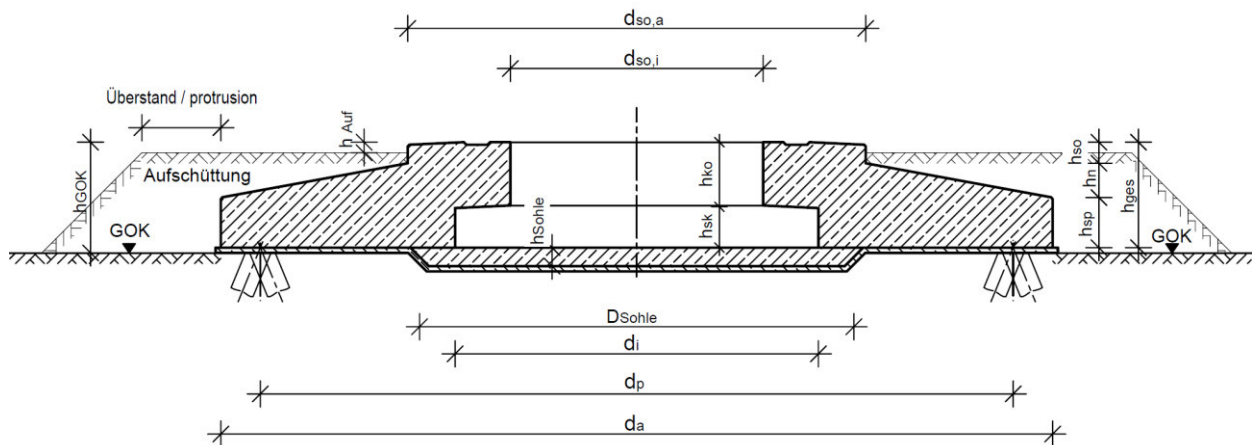
D0870410-4 / DA



3 von / of 12

2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

Außendurchmesser	d_a	18,80	m	Outer diameter
Innendurchmesser	d_i	8,30	m	Inner diameter
Sockeldurchmesser - außen	$d_{so,a}$	10,70	m	Base diameter - outside
Sockeldurchmesser - innen	$d_{so,i}$	6,80	m	Base diameter - inside
Pfahlkreisdurchmesser Var. A, B, C	d_p	17,60	m	Pile ring diameter opt. A, B, C
Pfahlkreisdurchmesser Var. D	d_p	17,20	m	Pile ring diameter opt. D
Fundamenthöhe	h_{ges}	2,45	m	Foundation height
Sockelhöhe	h_{so}	0,40	m	Base height
Höhe Spornneigung	h_n	0,85	m	Spur incline height
Spornhöhe	h_{sp}	1,20	m	Spur height
Differenz Fundamentoberkante - GOK	h_{GOK}	2,55	m	Difference between foundation top edge and ground level
Differenz Fundamentoberkante - Oberkante Aufschüttung	h_{Auf}	0,20	m	Difference between foundation top edge and top edge of backfill
Höhe der Fundamentsohle	h_{Sohle}	0,50	m	Height of foundation bottom
Durchmesser der Fundamentsohle (gemittelt)	d_{Sohle}	10,20	m	Diameter of foundation bottom (averaged)
Höhe Konsole (gemittelt)	h_{ko}	1,625	m	Corbel height (averaged)
Höhe Spannraum (gemittelt)	h_{sk}	0,825	m	Tensioning basement height (averaged)
Fundament:				Foundation:
Betongüte und Volumen	C 30/37	412	m ³	Concrete quality and volume
Betonstahl und Gewicht	B 500B	77,7	t	Reinforcement steel and weight
	B 400B	85,6	t	
Fundamentsohle:				Foundation bottom:
Betongüte und Volumen	C 30/37	41	m ³	Concrete quality and volume
Betonstahl und Gewicht	B 500B	14,4	t	Reinforcement steel and weight
	B 400B	16,3	t	



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaußenkanten ist durch einen Baugrundgutachter festzulegen.
The required protrusion of the backfill beyond the outer edges of the foundation must be defined by a geotechnical expert.

Pfähle / Piles:

Variante A / Option A:	48 Fertigteilrammpfähle nach außen/innen geneigt 48 prefabricated rammed piles inclined to the outside/inside	a / b	45/45 cm
Variante B / Option B:	39 Ortbetonrammpfähle nach außen/innen geneigt 39 rammed in-situ concrete piles inclined to the outside/inside	Ø	51 cm
Variante C / Option C:	33 Ortbetonrammpfähle nach außen/innen geneigt 33 rammed in-situ concrete piles inclined to the outside/inside	Ø	56 cm
Variante D / Option D:	16 Bohrpfähle vertikal 16 drilled piles vertical	Ø	100 cm

2.1 Ergänzende Anforderungen für Tiefgründungen / Additional requirements for deep foundations

Bei allen Tiefgründungen mit Fertigteil- oder Ortbetonpfählen ist vor Beginn der Pfahlarbeiten eine Rammebene gemäß der folgenden Abbildungen vorzubereiten.

Die Rammebene ist auf der Geländeoberkante mit einer Höhe $h=0,8\text{m}$ herzustellen. Etwaige Änderungen an Höhe oder Ausführungsebene sind vor der Ausführung mit ENERCON abzusprechen, und von ENERCON freizugeben.

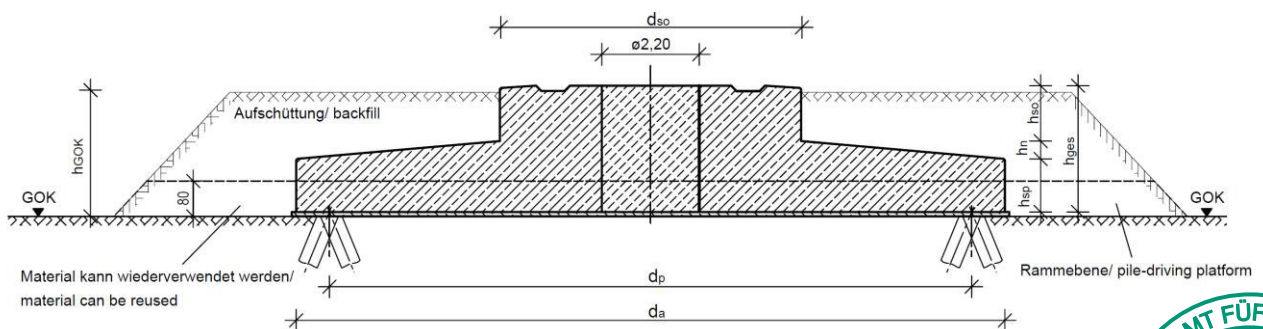
Die Planung der Rammebene obliegt dem verantwortlichen Baugrundgutachter. Dieser hat eine Aussage über das zu verwendende Material sowie über alle auf die Pfähle einwirkenden Zusatzbelastungen, z. B. durch Seitendruck oder Schrägauflast, zu treffen.

For all deep foundations with pre-cast or cast-in-situ concrete piles, a pile-driving platform according to the following illustrations must be prepared before piling works.

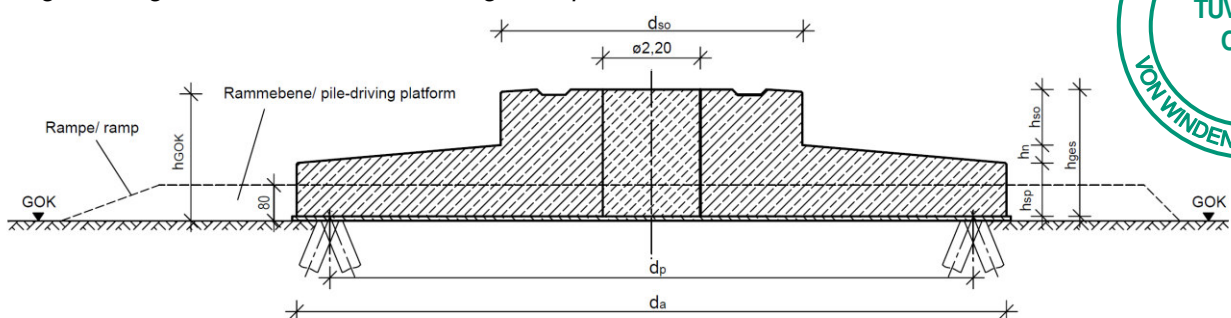
The pile-driving platform must be executed with a height $h=0.80\text{m}$ on top ground level. Possible changes of the height or the level of execution must be agreed with ENERCON before execution, and must be approved by ENERCON.

The geotechnical expert is responsible for planning the pile-driving platform. A statement about the material to be used for the platform, and also about additional loadings onto the piles, e. g. lateral pressure or sloped backfill, must be made by the geotechnical expert.

Tiefgründung mit Bodenaufschüttung / deep foundation with backfill



Tiefgründung ohne Bodenaufschüttung / deep foundation without backfill



3 Mindestdreh- und -wegfedersteifigkeiten Minimum rotational and translational spring stiffness

Folgende Mindestwerte sind einzuhalten:

Observe the following minimum values:

Min. Bodendrehfederkonstanten / Min. value of rotational spring Gesamtsystem / Total system (Turm und Gründung / Tower and foundation)	k_{φ,stat} 10500 MNm/rad
	k_{φ,dyn} 105000 MNm/rad
Min. Bodenwegfederkonstante / Min. value of translational spring	k_{F,dyn} 200 MN/m

Es gelten folgende Beziehungen:

The following relations apply:

$$\frac{1}{k_{\phi, \text{Gesamt}}} = \frac{1}{k_{\phi, \text{Fundament}}} + \frac{1}{k_{\phi, \text{Pfahlsystem}}}$$

$$\frac{1}{k_{\phi, \text{Total}}} = \frac{1}{k_{\phi, \text{Foundation}}} + \frac{1}{k_{\phi, \text{Pile system}}}$$

4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

Maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung in 25 Jahren bezogen auf den Pfahlkreisdurchmesser.

Maximum allowed misalignment due to subsoil settlement within 25 years, related to the pile ring diameter.

$$\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$$

5 Pfahlkräfte / Pile loads

Für den Nachweis der Pfahltragsicherheit sind sowohl Tragfähigkeitsnachweise wie auch Gebrauchstauglichkeitsnachweise zu führen.

Documented evidence of the structural safety of piles requires load-carrying analyses and proof of serviceability.

Die Pfähle sollten aufgrund der Zugbeanspruchung mindestens 5,0 m in den tragfähigen Baugrund ($q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$) einbinden.

Due to tensile loads, the piles should bond with the load-bearing subsoil for a minimum of 5.0 m ($q_c > 7.5 \text{ MN/m}^2$).

Durch einen Sachverständigen der Geotechnik kann diese Einbindetiefe reduziert werden

This anchoring depth can be reduced by means of geotechnical expertise

Es werden **nur die axialen Pfahllasten** für die ungünstigste Lastfallkombination angegeben. Die Lasten beziehen sich auf Oberkante Pfahl ohne Pfahleigengewicht.

Only axial pile loads for the worst load case combination are indicated. Loads refer to the top edge the pile without considering the pile's dead load.

5.1 Variante A: Fertigteiltramppfähle / Option A: Prefabricated rammed piles

Querschnitt a/b	45/45 cm	<i>Cross section a/b</i>
Anzahl	48	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl Neigung nach außen	32 4,5:1	<i>Quantity outward inclination</i>
Anzahl Neigung nach innen	16 7,0:1	<i>Quantity inward inclination</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F _{Gk} in kN <i>ohne Auftrieb without buoyancy</i>	F _{Gk} in kN <i>mit Auftrieb with buoyancy</i>	F _{Qk} in kN	Σ F _k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-611	-	-868	-1479
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-578	770	192

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = \gamma_G = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = \gamma_G = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F _{Gd} in kN <i>ohne Auftrieb without buoyancy</i>	F _{Gd} in kN <i>mit Auftrieb with buoyancy</i>	F _{Qd} in kN	Σ F _d in kN
Druck / Compression	(1.10/1.35)	-742	-	-1005	-1747
Zug / Tension	(0.90/0.90)	-	-518	908	390

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F _G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F _Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F _k	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F _d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	Σ F	<i>sum of permanent and varying loads</i>

5.2 Variante B: Ortbetonrammpfähle / Option B: Rammed in-situ concrete piles

Querschnitt Durchmesser	51 cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	39	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl Neigung nach außen	26 4,5:1	<i>Quantity outward inclination</i>
Anzahl Neigung nach innen	13 7,0:1	<i>Quantity inward inclination</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gk} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-752	-	-1058	-1810
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-711	954	243

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = \gamma_G = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = \gamma_G = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gd} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.10/1.35)	-913	-	-1224	-2137
Zug / Tension	(0.90/0.90)	-	-638	1116	478

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F_G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F_Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F_k	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F_d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	ΣF	<i>sum of permanent and varying loads</i>

5.3 Variante C: Ortbetonrammpfähle / Option C: Rammed in-situ concrete piles

Querschnitt Durchmesser	56 cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	33	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl Neigung nach außen	22 4,5:1	<i>Quantity outward inclination</i>
Anzahl Neigung nach innen	11 7,0:1	<i>Quantity inward inclination</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gk} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-889	-	-1261	-2150
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-840	1124	284

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = \gamma_G = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = \gamma_G = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gd} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.10/1.35)	-1079	-	-1453	-2532
Zug / Tension	(0.90/0.90)	-	-754	1317	563

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F_G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F_Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F_k	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F_d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	ΣF	<i>sum of permanent and varying loads</i>

5.4 Variante D: Bohrpfähle / Option D: Drilled piles

Querschnitt Durchmesser	100 cm	<i>Cross section diameter</i>
Anzahl	16	<i>Quantity</i>
Pfahllänge (Nachweislänge in statischer Berechnung)	20,0 m	<i>Pile length (proof length in static calculation)</i>
Anzahl vertikal	16	<i>Quantity vertical</i>

Charakteristische axiale Pfahllasten / Characteristic axial pile loads

Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F_{Gk} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gk} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qk} in kN	ΣF_k in kN
Druck / Compression	(1.00/1.00)	-1833	-	-2470	-4303
Zug / Tension	(1.00/1.00)	-	-1733	2244	511

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = \gamma_G = 1,0$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = \gamma_G = 1.0$)

Bemessungswerte der axialen Pfahllasten / Axial Pile load design values

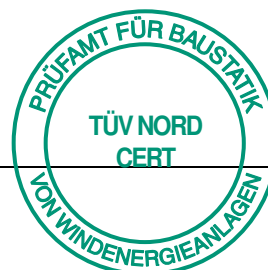
Lastfall / Load case Gruppe / Group N/A/T	(γ_F/γ_G)	F_{Gd} in kN ohne Auftrieb without buoyancy	F_{Gd} in kN mit Auftrieb with buoyancy	F_{Qd} in kN	ΣF_d in kN
Druck / Compression	(1.10/1.35)	-2225	-	-2971	-5196
Zug / Tension	(0.90/0.90)	-	-1555	2749	1194

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{buoyancy}} = 1.10$)

Erläuterungen / Explanations:

Anteil infolge ständiger Lasten	F_G	<i>portion due to permanent loads</i>
Anteil infolge veränderlicher Lasten	F_Q	<i>portion due to varying loads</i>
Charakteristische Lasten	F_k	<i>characteristic loads</i>
Bemessungswerte der Lasten	F_d	<i>load design values</i>
Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten	ΣF	<i>sum of permanent and varying loads</i>



5.5 Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen/ Pile stress resultant design values

Pfehlvariante / <i>Pile option</i>		A	B	C	D
Anzahl Pfehle / <i>Number of piles</i>		48	39	33	16
Horizontalkraft (Pfehl oberkante) / <i>Horizontal force (top edge of pile)</i>	Hd	30 kN*	36 kN*	42 kN*	216 kN*
Einspannmoment in der Platte / <i>Fixed-end moment in plate</i>	Md	49 kNm*	58 kNm*	76 kNm*	573 kNm*
Max. Moment in Pfehlmitte / <i>Max. moment at centre of pile</i>	Md	59 kNm*	73 kNm*	92 kNm*	595 kNm*

* in Abhängigkeit von der anstehenden Bettung

* depending on subgrade reaction

Die Bemessungswerte der Pfehlschnittgrößen dürfen für eine Vorbemessung verwendet werden und sind mit den Bemessungswerten der Pfehlkräfte ungünstig zu kombinieren.

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

Der Nachweis der inneren Tragfähigkeit ist standortabhängig unter Berücksichtigung der ENERCON-Spezifikation „Nachweisführung der inneren Tragfähigkeit von Pfehlssystemen“ zu führen.

The inner bearing capacity must be verified depending on the location, taking ENERCON's specifications document "Verification of internal pile capacity" into account.

5.6 Baugrundaufbau / Subsoil structure

Die Berechnung der zuvor angegebenen Pfehlkräfte und Pfehlschnittgrößen basiert auf den folgenden angenommenen Bodenparametern. Diese Parameter sind standortbezogen durch einen Baugrundgutachter zu überprüfen.

The calculation of the previously indicated pile loads and pile stress resultants is based on the following assumed subsoil parameters. These parameters must be verified site-specific by a geotechnical expert.

Tiefe ab Fundamentunterkante / <i>Depth starting at foundation bottom edge</i>	Pfehlvariante / <i>Pile option</i>	
	A – C	D
0 m – 1 m	Es,stat = 0,0 MN/m ²	Es,stat = 0,0 MN/m ²
1 m – 15 m	Es,stat = 1,0 MN/m ²	Es,stat = 3,5 MN/m ²
15 m – 20 m	Es,stat = 10,0 MN/m ²	Es,stat = 10,0 MN/m ²



6 Lasten an der Fundamentunterkante Loads at the bottom edge of the foundation

Die hier angegebenen F_Z -Lasten enthalten ein Fundamenteigengewicht $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ und eine Bodenauflast $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ im erdfeuchten Zustand.

The F_Z loads specified here include a dead weight of foundation $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ and a soil weight $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ in earth-moist condition.

6.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	$(\gamma_{G,min}/\gamma_{G,max})$	F_{XY} in kN	$F_{Z,min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	M_{XY} in kN	M_Z in kN
NTM DLC D.3	(1.00/1.00)	880	-29313	-27726	86106	-
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1560	-29313	-27726	137772	-8300
N / A / T	(1.00/1.00)	1560	-29333	-27726	159672	-8300

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
 $(\gamma_F = 1,00)$

*Loads do not include partial safety factors
 $(\gamma_F = 1.00)$*

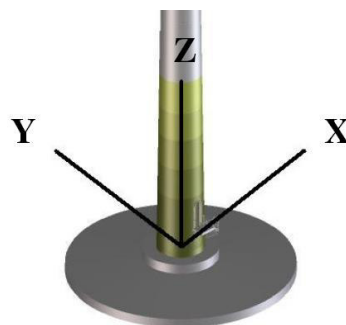
6.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

Lastfall Load case	$(\gamma_{G,min}/\gamma_{G,max})$	F_{XY} in kN	$F_{Z,min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	M_{XY} in kN	M_Z in kN
N / A / T	(1.35/0.90)	2120	-35593	-24886	195194	-11150

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
 $(\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10)$

*All loads include partial safety factors
 $(\gamma_{\text{Buoyancy}} = 1.10)$*

7 Koordinatensystem / Coordinate system



Prüfbericht zur Typenprüfung

**Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03,
Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01,
DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II**

- Flachgründung mit Auftrieb, D=20,20 m -

Prüfbericht Nr.:	T-7016/20-3 Rev. 0
Gegenstand der Prüfung:	Standsicherheit der Flachgründung mit Auftrieb für die oben genannte Windenergieanlage gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015)
Anlagenhersteller (Antragsteller):	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland
Dokumentation:	H+P Ingenieure GmbH Kackertstraße 10 52072 Aachen Deutschland ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Dieser Prüfbericht wird ausschließlich dem oben genannten Anlagenhersteller bzw. Antragsteller zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung oder Verbreitung dieses Prüfberichts ist nur durch eine vorherige, schriftliche Freigabe der TÜV NORD CERT GmbH oder des oben genannten Anlagenherstellers bzw. Antragstellers gestattet. Eine auszugsweise Veröffentlichung oder Verbreitung ist im Allgemeinen nicht gestattet. Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Der Prüfbericht umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen
0	19.03.2021	Erstausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
2	Prüfgrundlagen	5
3	Einleitung	6
4	Beschreibung	6
4.1	Fundament	6
4.2	Lastannahmen	6
4.3	Baustoffe	7
5	Prüfung	8
5.1	Umfang und Methodik	8
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	8
5.3	Ergebnisse	8
5.4	Schnittstellen	9
6	Auflagen.....	9
7	Zusammenfassung	10

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen

[1.1.1] H+P Ingenieure GmbH:
„STATISCHE BERECHNUNG E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Bauteil: Flachgründung mit Teilauftrieb Projekt: E19-047“, Dokument-Nr.: D0392331-1, Rev. 1, Datum: 08.09.2020

[1.1.2] H+P Ingenieure GmbH:
„LASTENVERGLEICH E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Bauteil: Flachgründung mit Teilauftrieb Projekt: E20-063 zugehörig zu: E19-047, D0392331“, Dokument-Nr.: D02169085-0, Rev. 0, Datum: 21.12.2020

Anlagen zum Prüfbericht zur Typenprüfung

[1.1.3] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Planinhalt: Schalplan Ortbetonfundament Flachgründung mit Teilauftrieb (FgmTa) Ø20,20m Projekt-Nr.: E19-047 FfwpB“, Dokument-Nr.: D0837348-1, Rev. 1, Datum: 18.01.2021

[1.1.4] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Flachgründung mit Teilauftrieb (FgmTa) Ø20,20m Planinhalt: Bewehrungsplan 1 FgmTa Projekt-Nr.: E19-047 FfwpB“, Dokument-Nr.: D0837237-3, Rev. 3, Datum: 21.12.2020

[1.1.5] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Flachgründung mit Teilauftrieb (FgmTa) Ø20,20m Planinhalt: Bewehrungsplan 2 FgmTa Projekt-Nr.: E19-047 FfwpB“, Dokument-Nr.: D0837238-2, Rev. 2, Datum: 21.12.2020

[1.1.6] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Flachgründung mit Teilauftrieb (FgmTa) Ø20,20m Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 1 FgmTa Projekt-Nr.: E19-047 FfwpB“, Dokument-Nr.: D0837239-1, Rev. 1, Datum: 21.12.2020

[1.1.7] H+P Ingenieure GmbH:
„Turmtyp: E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Flachgründung mit Teilauftrieb (FgmTa) Ø20,20m Planinhalt: Bewehrungsplan 3 Fundamentsohle Variante 2 FgmTa Projekt-Nr.: E19-047 FfwpB“, Dokument-Nr.: D0837240-1, Rev. 1, Datum: 21.12.2020

Spezifikationen

- [1.1.8] ENERCON GmbH:
„Fundamentdatenblatt E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Flachgründung mit Teil-
auftrieb WZ 3 GK I, GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)“,
Dokument-Nr.: D0870411-4, Rev. 4, Datum: 15.01.2021

1.2 Dazugehörige Dokumente

Turm

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
„Prüfbericht zur Typenprüfung, Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt
E-115 EP3-RB-03, DIBt Windzone 3, Geländekategorie I u. II,
- Hybridturm E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 -“,
Prüfbericht Nr.: T-7016/20-1 Rev. 0, Datum: 19.03.2021
- [1.2.2] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Fundamentlasten“,
Dokument-Nr.: D0862298-1, Rev. 1, Datum: 09.06.2020
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
„Bauvorlage ENERCON E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Spannverfahren“,
Dokument-Nr.: D0865033-1, Rev. 1, Datum: 20.02.2020
- [1.2.4] H+P Ingenieure GmbH:
Spannprogramm „BERECHNUNG DER VORSPANNKRÄFTE UND DEHN-
WEGE E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01 Bauteil: Betonfertigteilturm Projekt:
E19-024“, Dokument-Nr.: D0392329-4, Rev. 4, Datum: 20.11.2020

Spezifikationen

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
„Ausführungs-Systematik zu Hinweisen der Bauausführung Für alle Funda-
menttypen“, Dokument-Nr.: D0748194-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
„Hinweise zur Bauausführung Turmtypen E-XX EX/XX/XX/XX/XX &
E-XX EX/XX/XX/XX/XX Für alle Fundamenttypen“,
Dokument-Nr.: D0748193-0a, Rev. 0a, Datum: 12.09.2018
- [1.2.7] ENERCON GmbH:
„Materialspezifikation Betonstahl“,
Dokument-Nr.: D0181818-2, Rev. 2, Datum: 22.05.2017

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / Allgemeine Bauartgenehmigungen

- [1.2.8] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung;
Nummer: Z-13.3-110; Gegenstand dieses Bescheides: Litzenspannverfahren
VT-CMM KD für externe Vorspannung“, gültig vom 03.09.2020 bis 03.09.2025
- [1.2.9] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Allgemeine Bauartgenehmigung; Nummer: Z-13.3-143; Gegenstand dieses Be-
scheides: Litzenspannverfahren VT-CMM D/KD für Windenergieanlagen“, gültig
vom 15.04.2019 bis 15.04.2024

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt:
„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnach-
weise für Turm und Gründung“, korrigierte Fassung, 03.2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011-08:
„Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 +
A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010“
- [2.3] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 + DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 +
NA/A1:2015-12: „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton-
und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und
Regeln für den Hochbau“
- [2.4] DIN EN 1997-1:2014-03 + DIN EN 1997-1/NA:2010-12:
„Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik –
Teil 1: Allgemeine Regeln“
- [2.5] DIN 1054:2010-12 + A1:2012-08 + A2:2015-11:
„Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Rege-
lungen zu DIN EN 1997-1“
- [2.6] DIN EN 1998-1:2010-12 + DIN EN 1998-1/NA:2011-01:
„Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen,
Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“
- [2.7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterun-
gen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990“, DAfStb Heft 439,
1994
- [2.8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
„Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“,
DAfStb Heft 600, 2012

[2.9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:
 Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, 04.2010

3 Einleitung

Gegenstand dieses Berichts ist die Prüfung einer Flachgründung mit Auftrieb, welche nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) ausgelegt wurde.

4 Beschreibung

4.1 Fundament

Das Fundament dient der Aufnahme des vorgespannten Betonfertigteilturms mit Stahlsektionen E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01, welcher in [1.2.1] geprüft wurde.

Das Kreisringfundament weist einen Außendurchmesser von 20,20 m auf. Unterhalb des Sockelbereichs befindet sich eine statisch erforderliche, kreisförmige Bodenplatte.

Der Turm ist über externe Spannglieder mit dem Fundament verbunden.

Weitere Details können dem Schalplan [1.1.3] und dem Fundamentdatenblatt [1.1.8] (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Die folgende Anlagenkonfiguration wurde bei der Prüfung des Fundaments berücksichtigt:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Fundamentnachweise
1	E-115 EP3 E3	135,0 m	4200 kW	E-115 EP3-RB-03	WZ 3	GK I u. II	[1.1.1] - [1.1.2]

Tabelle 4.1: Geprüfte Konfiguration für Fundamentnachweise

4.2 Lastannahmen

Die angesetzten Turmfußlasten decken folgende Konfiguration ab und sind in den aufgelisteten Dokumenten spezifiziert und geprüft:

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	spezifiziert in	geprüft in
1	E-115 EP3 E3	135,0 m	4200 kW	E-115 EP3-RB-03	WZ 3	GK I u. II	[1.2.2]	[1.2.1]

Tabelle 4.2: Lastannahmen

Die Auslegungslasten beziehen sich auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

Einwirkungen aus Erdbeben wurden berücksichtigt (s. [1.2.1]).

Zur Erfassung von Herstellungs- und Montageungenauigkeiten und Einflüssen aus einseitiger Sonneneinstrahlung wurde eine Schiefstellung der Turmachse von 5 mm/m angenommen. Zusätzlich wurde eine Schiefstellung des Turms von 3 mm/m infolge ungleichmäßiger Fundamentsetzungen berücksichtigt.

Eine Erhöhung der Turmfußmomente durch den Einfluss der statischen Bodendrehfeder $k_{\varphi,stat} = 10\,000\text{ MNm/rad}$ wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die dynamische Bodendrehfeder wurde mit $k_{\varphi,dyn} = 100\,000\text{ MNm/rad}$ angesetzt.

Verkehrslasten auf der Fundamentplatte wurden nicht berücksichtigt.

Das Fundament wurde mit und ohne Belastung aus Auftrieb berechnet. In der statischen Berechnung wurde angenommen, dass der maximale Wasserstand aus Schichten- und Oberflächenwasser oder Grundwasser 2,55 m unter der Oberkante des Fundamentsockels liegt.

Die Werte der Vorspannung wurden [1.2.3] und [1.2.4] entnommen und in [1.2.1] geprüft.

4.3 Baustoffe

In diesem Abschnitt werden die Hauptbaustoffe und -produkte der tragenden Bauteile aufgeführt. Weitere Details können den geprüften Zeichnungen (siehe Abschnitt 1.1) bzw. der Spezifikation [1.2.7] entnommen werden.

Fundament

Fundamentplatte:	C30/37	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Bodenplatte:	C30/37	DIN EN 206-1, DIN 1045-2
Vergussmörtel:	\geq C70/85	DIN EN 206-1 Der Vergussbeton muss den Anforderungen der DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“ genügen.
Betonstahl:	B500B	DIN 488
Spannverfahren:	VT-CMM KD Litzenspannverfahren ohne Verbund, Zulassung Nr. Z-13.3-110 [1.2.8] mit Z-13.3-143 [1.2.9], 24 externe Spannglieder vom Typ 4x04-165 KD mit 16 Litzen, Stahlgüte St 1600/1820	

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) wurden in den eingereichten statischen Berechnungen (siehe 1.1) geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Prüfung umfasst das Fundament, die Vergussfuge am Turmfuß und die Bodenplatte.

Der Turm und die geotechnischen Nachweise sind nicht Gegenstand dieser Prüfung.

Der Hybridturm und die externen Spannglieder wurden in [1.2.1] geprüft.

Die Bewertung verbleibender Restsicherheiten ist nicht Bestandteil der Prüfung.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Allgemeines

Für die Bemessung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 (korrigierte Fassung März 2015) berücksichtigt.

Die unter 1.1 aufgeführten Unterlagen sind mit einem TÜV NORD Stempel versehen.

Fundament

Eine Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens wurde nicht berücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass ein duktiler Bauteilverhalten durch Umlagerung des Sohldrucks bzw. des Erddrucks sichergestellt werden kann.

Unter dem Kreisring ist eine 50 cm dicke, bewehrte Bodenplatte angeordnet. Die Bodenplatte dient als Zugband und ist sowohl für Wasserdruck von unten als auch für die entsprechende Normalkraft ausgelegt. Die Fuge zwischen der Bodenplatte und dem Kreisring ist mit einer umlaufenden Anschlussbewehrung versehen, die Bodenplatte selbst ist kreuzweise bewehrt. Da eine vollständige Dichtheit der Fuge nicht unbedingt gewährleistet ist, kann es innerhalb des Kreisrings zum gleichen Wasserstand wie außen kommen. Beide Grenzzustände wurden untersucht.

In der statischen Berechnung [1.1.1] wurde eine Betonierfuge bis zu einer Höhe von 0,65 m über der Fundamentsohle nachgewiesen, gemäß den Zeichnungen [1.1.3] bis [1.1.7] sind jedoch keine Betonierfugen im Fundament vorgesehen (s. Auflage 6.3).

5.3 Ergebnisse

Die geprüften Standsicherheitsnachweise sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt.

5.4 Schnittstellen

Turm

- 5.4.1 Es wurde überprüft, ob das Fundament die im Turmbericht [1.2.1] spezifizierten Anforderungen erfüllt.

Geotechnische Nachweise

- 5.4.2 Alle geotechnischen Nachweise inklusive der nachfolgend aufgeführten Anforderungen an den Baugrund sind durch einen Gutachter für Geotechnik für den jeweiligen Gründungsbereich nachzuweisen.
- 5.4.3 Der Baugrund muss die in [1.1.8] spezifizierten Anforderungen erfüllen.
- 5.4.4 Die in [1.1.8] angegebene, maximale Bodenpressung wurde mit charakteristischen Lasten ($\gamma_f = 1,0$) ermittelt.

Montage & Inbetriebnahme

- 5.4.5 Aufgrund der beim Ermüdungsnachweis getroffenen Annahmen darf die Windenergieanlage frühestens 35 Tage nach Herstellung des Fundaments in Betrieb genommen werden. Ferner ist ein langsam erhärtender Zement zu verwenden.

Wiederkehrende Prüfungen / Wartungen

- 5.4.6 Bei wiederkehrenden Prüfungen ist Kapitel 15 der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen zu beachten.

6 Auflagen

Fundament

- 6.1 Bei der Herstellung und Ausführung des Fundaments sind die Bestimmungen der DIN EN 13670, der DIN 1045-3 und der Spezifikation [1.2.6] zu beachten. Für den Beton sind Eignungs- und Güteprüfungen gemäß DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 206-1 durchzuführen.
- 6.2 Wegen der großen Abmessungen des Fundaments ist zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen infolge Abbindewärme und Schwindwirkungen ein Betontechnologe hinzuzuziehen. Die Betongüten sind durch Betonprüfzeugnisse der Lieferfirmen nachzuweisen. Auf die Einhaltung der geforderten Betondeckung sowie auf die fachgerechte Verlegung der Bewehrung ist zu achten. Bei Bauteilen des Gründungskörpers, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen, wurde die rechnerische Rissbreite auf 0,2 mm begrenzt, bei allen

übrigen Bauteilen des Gründungskörpers auf 0,3 mm. Sollten nach dem Aushärten des Betons unzulässig breite Risse festgestellt werden, sind diese fachgerecht zu sanieren.

- 6.3 In der statischen Berechnung [1.1.1] wurde eine optionale Arbeitsfuge nachgewiesen, in den Zeichnungen [1.1.3] bis [1.1.7] ist diese jedoch nicht dargestellt. Das Fundament ist daher fugenlos herzustellen. Sollte eine Arbeitsfuge erforderlich sein, sind die entsprechenden Bewehrungspläne zu überarbeiten und zur Prüfung einzureichen. In diesem Falle ist sicherzustellen, dass zum Zwecke der Schubkraftübertragung in der optionalen Arbeitsfuge die Montagebewehrung im Bereich des Kreisrings zwischen $R = 4,15 \text{ m}$ und $R = 5,35 \text{ m}$ mindestens $A_{sw} = 1256,6 \text{ cm}^2$ beträgt. Diese Querkraftbewehrung entspricht dem in der statischen Berechnung [1.1.1] auf Seite 108 angegebenen Wert.

7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Schnittstellen und Auflagen erfüllt die hier geprüfte Flachgründung mit Auftrieb die Anforderungen der DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen [2.1].

Der Prüfbericht zur Typenprüfung gilt für die in Tabelle 4.1 aufgeführte Windenergieanlagenkonfiguration.

Im Falle von standsicherheitsrelevanten Änderungen an der Fundamentkonstruktion verliert dieser Bericht seine Gültigkeit.

Dieser Prüfbericht ersetzt nicht den Prüfbescheid zur Typenprüfung.

Für eine vollständige Typenprüfung müssen alle gutachtlichen Stellungnahmen gemäß DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen, Kapitel 3, Abschnitt I sowie ein Prüfbescheid zur Typenprüfung vorliegen.

Der Leiter

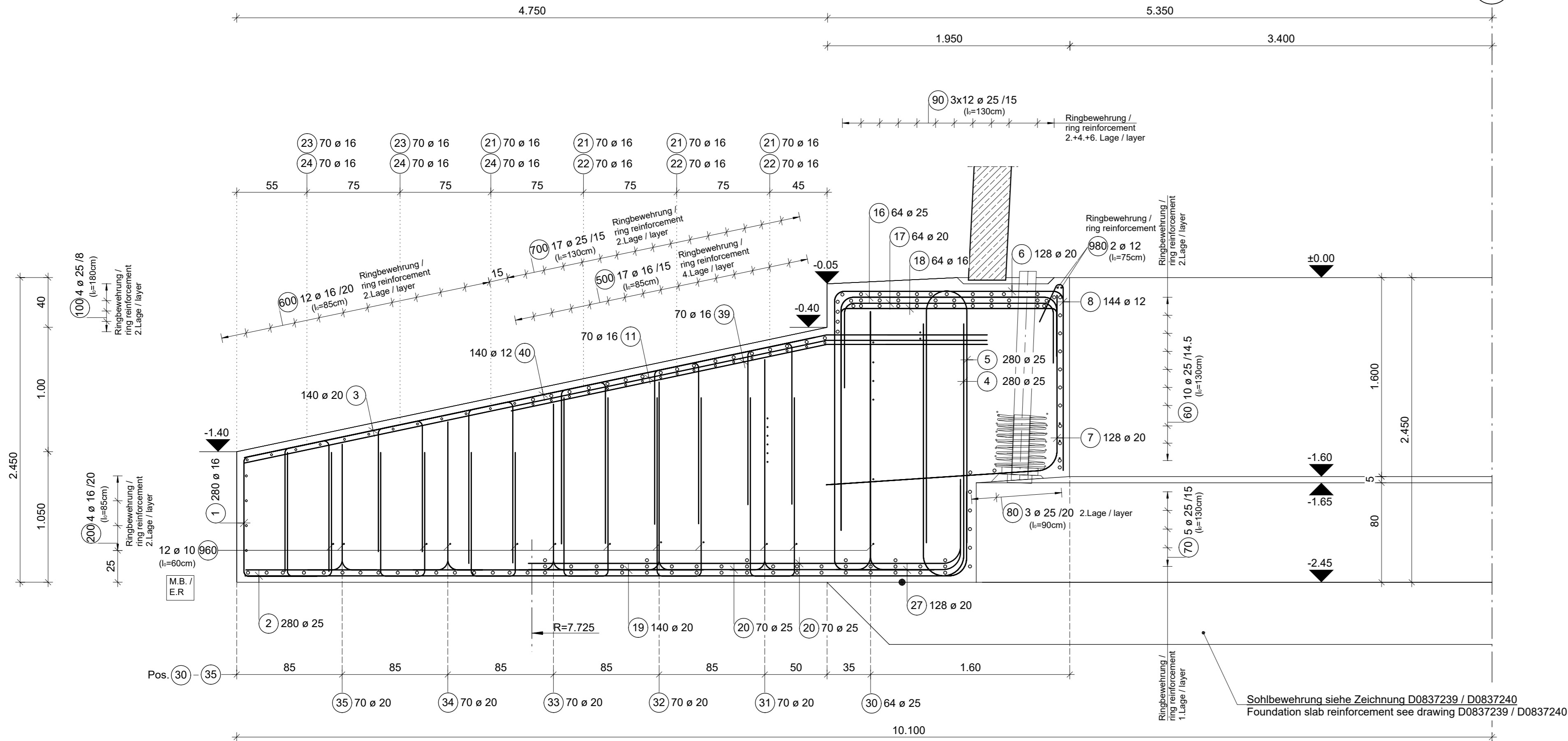


Dipl.-Ing. T. Krause

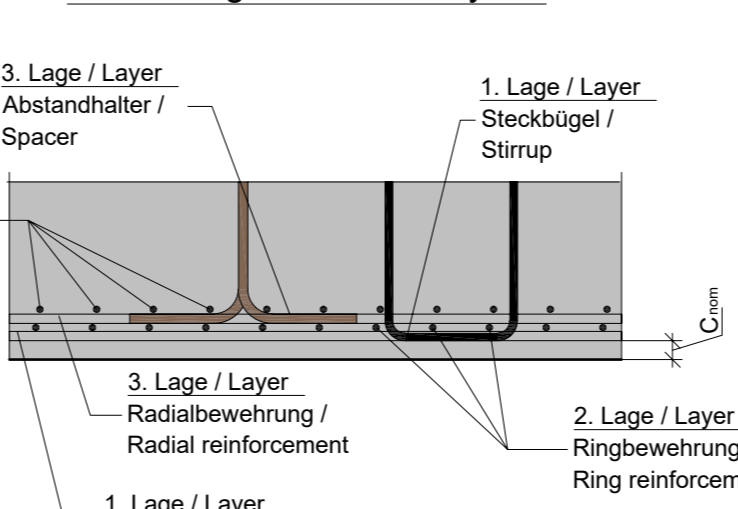


An der Prüfung beteiligt:
Dipl.-Ing. (FH) N. Chamoun

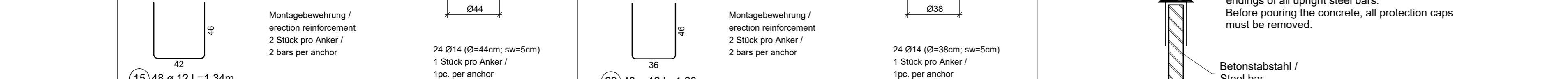
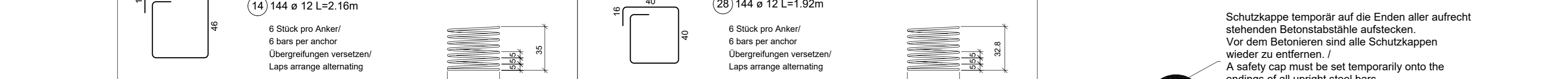
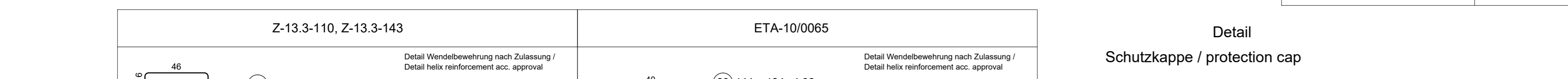
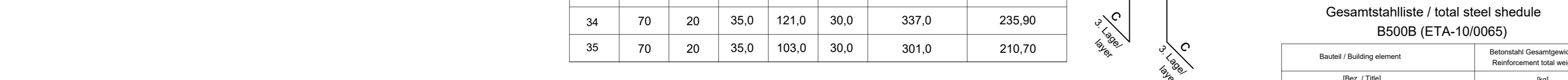
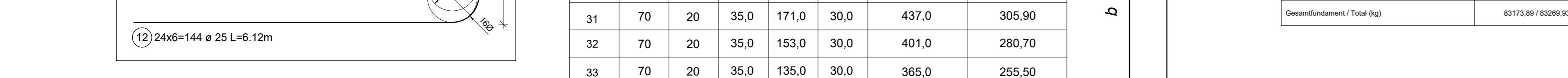
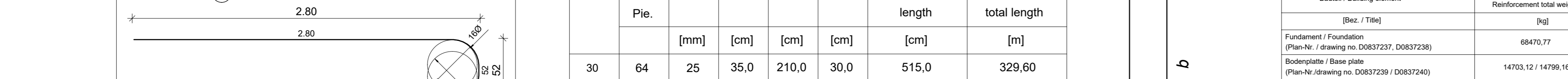
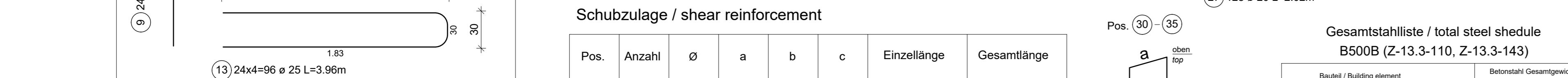
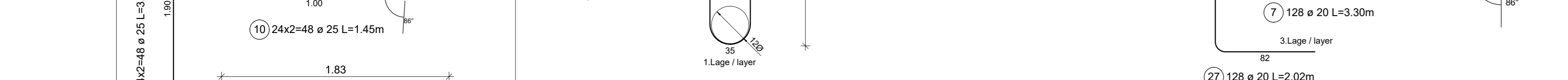
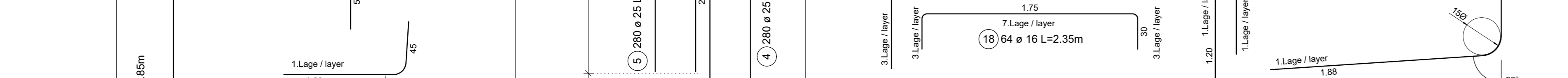
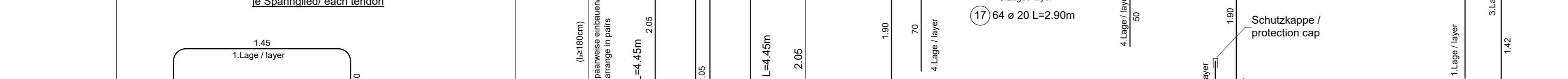
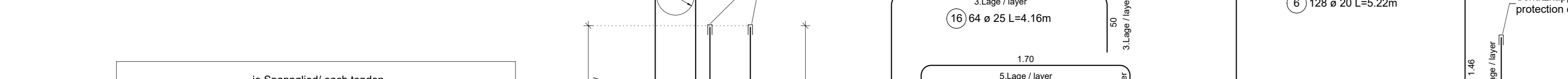
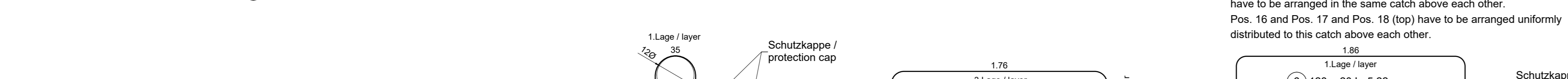
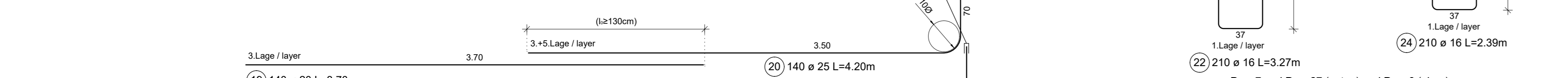
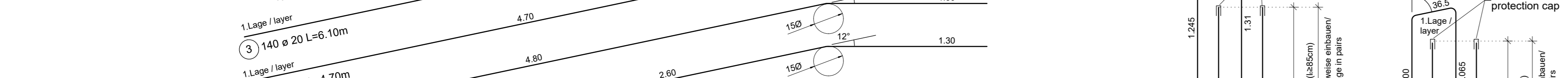
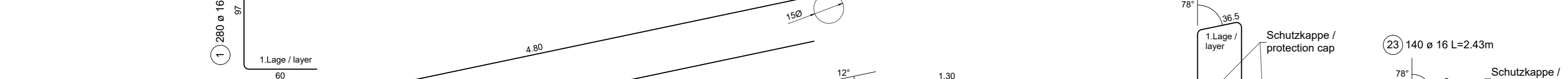
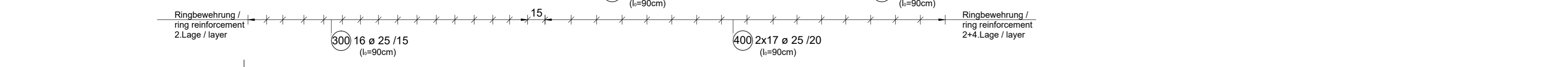
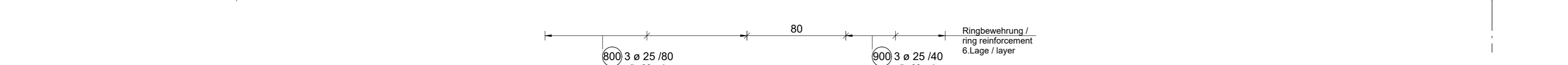
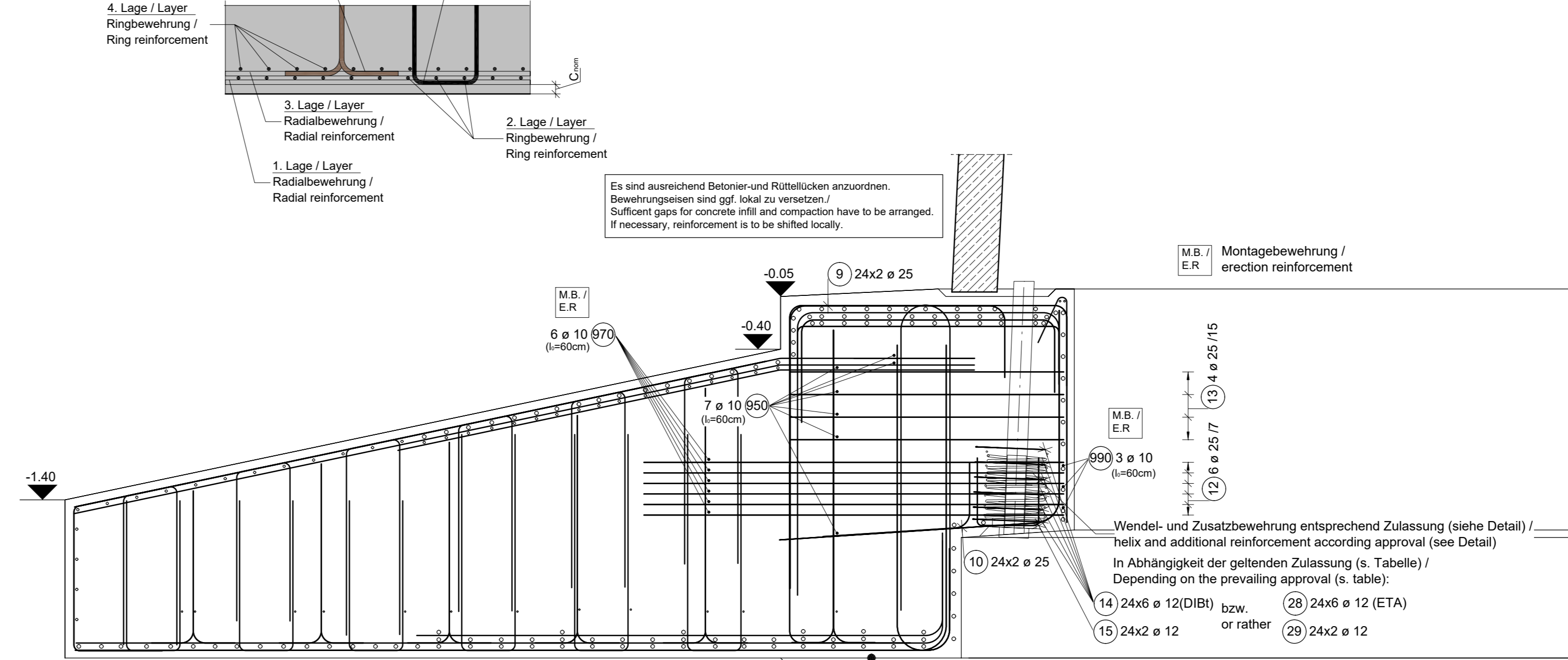
Schnitt / Cross section A-A
Maßstab / Scale 1:25



Untere Lagen / Bottom layers



Schnitt / Cross section B-B
Maßstab / Scale 1:25



Stahlliste / Steel schedule

Pos.	Anzahl/Number	Ø	Länge/Length (m)	Gesamtlänge/ Subtotal length (m)					
				Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	
1	280	16	2.37			663.60			1828.40
2	280	25	6.53						
3	140	20	6.10					854.00	
4	280	25	4.45						1246.00
5	280	25	4.45						1246.00
6	128	20	5.22					668.16	
7	128	20	3.30					422.40	
8	144	12	1.00		144.00				
9	48	25	3.85						184.80
10	48	25	1.45						69.60
11	70	16	6.10					427.00	
12	144	25	6.12						881.28
13	96	25	3.96						386.16
14*	144	12	2.16		311.04*				
15*	48	12	1.34		64.32*				
16	64	25	4.16						266.24
17	64	20	2.90			185.60			
18	64	16	2.35			150.40			
19	140	20	3.70					518.00	
20	140	25	4.20						588.00
21	280	16	2.92			817.60			
22	210	16	3.27			686.70			
23	140	16	2.43			340.20			
24	210	16	2.39			501.90			
27	128	20	2.02					258.56	
28*	144	12	1.92		276.48*				
29*	48	12	1.28		61.44*				
30	64	25	5.15						329.60
31	70	20	4.37					305.90	
32	70	20	4.01					280.70	
33	70	20	3.65					255.50	
34	70	20	3.37					235.90	
35	70	20	3.01					210.70	
39	70	16	3.90			273.00			
40	140	12	4.70			658.00			
60	10	25	Lfdm					272.00	
70	5	25	Lfdm					158.00	
80	3	25	Lfdm					84.00	
90	36	25	Lfdm					1173.60	
100	4	25	Lfdm					169.00	
200	4	16	Lfdm			272.40			
300	16	25	Lfdm					973.80	
400	34	25	Lfdm					1419.50	
500	17	16	Lfdm			766.60			
600	12	16	Lfdm			731.90			
700	17	25	Lfdm					806.40	
800	3	25	Lfdm					141.20	
900	3	25	Lfdm					101.60	
950	7	10	Lfdm			231.80			
980	12	10	Lfdm			585.30			
970	6	10	Lfdm			235.20			
980	2	12	Lfdm			48.60			
990	3	10	Lfdm			71.10			
Gesamtlänge je Durchmesser/Length acc. to diameters (m)				1123.40	850.60	5631.30	4195.42	12319.18	
Gesamtlänge je Durchmesser/ Subtotal by diameter (kg)				0.617	0.888	1.580	2.470	3.850	
Gesamtlänge je Durchmesser/ Subtotal by diameter (kg)				693.14	755.33	8897.45	10382.69	47428.84	
Total (kg)								68137.45	

Schubzlage / shear reinforcement

Pos.	Anzahl	Ø	a	b	c	Einzellänge length [cm]	Gesamtlänge total length [m]
30	64	25	35.0	210.0	30.0	515.0	329.60
31	70	20	35.0	171.0	30.0	437.0	305.90
32	70	20	35.0	153.0	30.0	401.0	280.70
33	70	20	35.0	135.0	30.0	365.0	255.50
34	70	20	35.0	121.0	30.0	337.0	235.90
35	70	20	35.0	103.0	30.0	301.0	210.70

Pos.	Anzahl	Ø	a	b	c	Einzellänge length [cm]	Gesamtlänge total length [m]
10	24	16	25	130	30	183	436.80
11	24	16	25	112	30	157	376.80
12	24	16	25	94	30	131	316.80
13	24	16	25	76	30	105	256.80
14	24	16	25	58	30	79	196.80
15	24	16	25	40	30	53	136.80

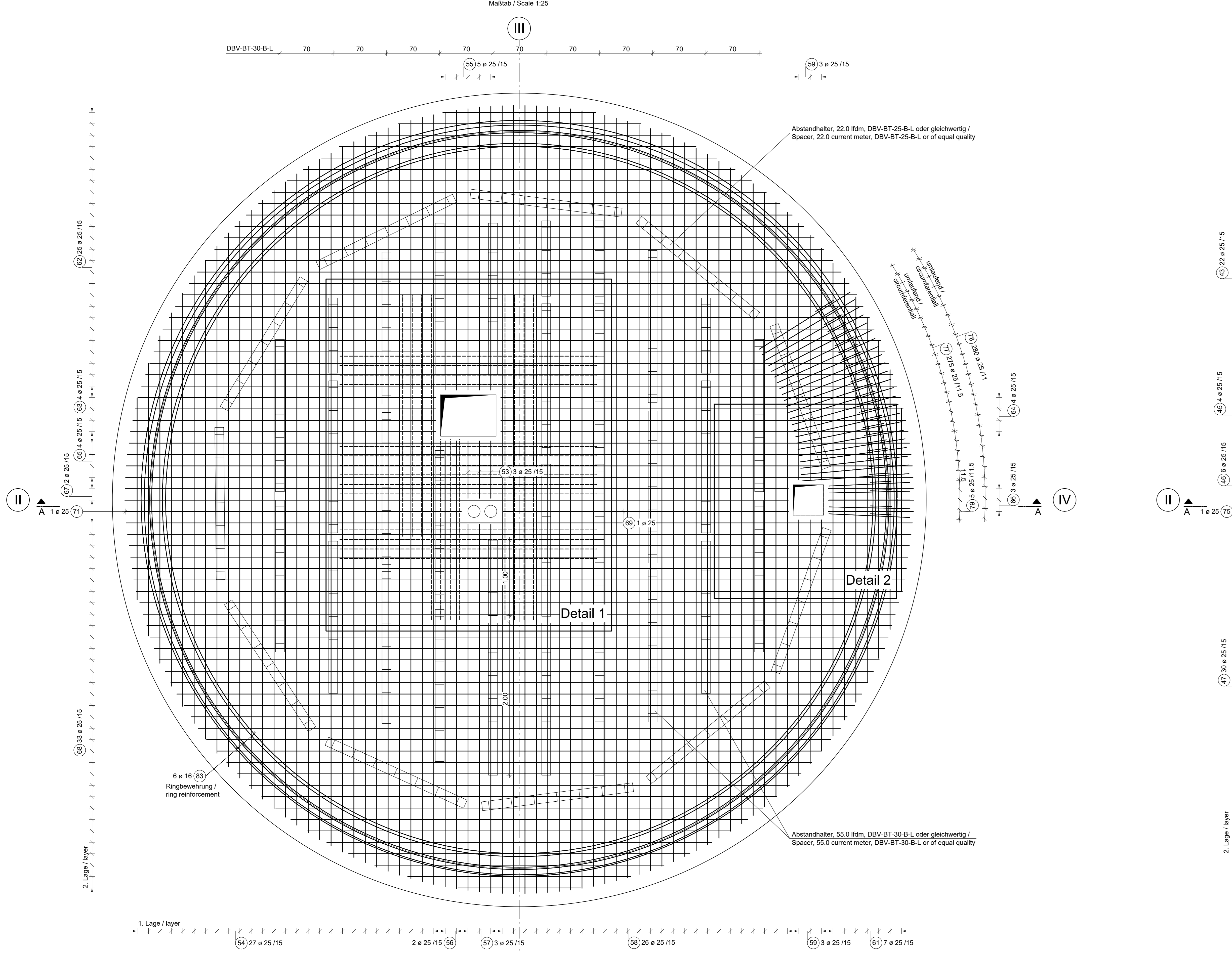
Pos.	Anzahl	Ø	a	b	c	Einzellänge length [cm]	Gesamtlänge total length [m]
16	24	16	25	22	30	27	64.80
17	24	16	25	4	30	1	28.80
18	24	16	25	-14	30	-13	33.60
19	24	16	25	-32	30	-31	70.56

Pos.	Anzahl	Ø	a	b	c	Einzellänge length [cm]	Gesamtlänge total length [m]
20	24	16	25	-50	30	-49	107.40
21	24	16	25	-68	30	-67	144.24
22	24	16	25	-86	30	-85	181.08
23	24	16	25	-104	30	-103	217.92
24	24	16	25	-122	30	-121	254.76
25	24	16	25	-140	30	-139	291.60
26	24	16	25	-158	30	-157	328.44
27	24	16	25	-176	30	-175	365.28
28	24	16	25	-194	30	-193	402.12
29	24	16	25	-212	30	-211	438.96

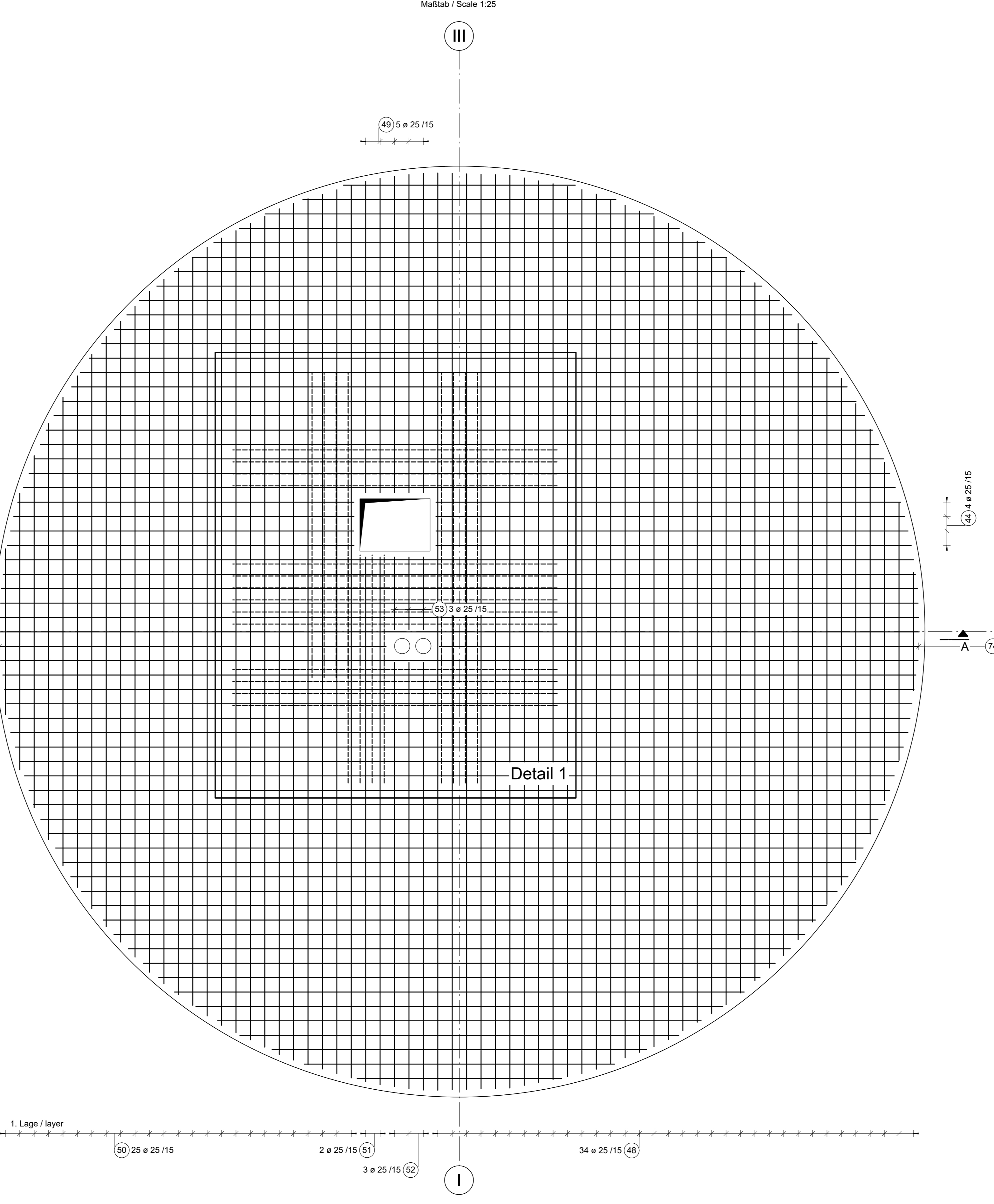
Pos.	Anzahl	Ø	a	b	c	Einzellänge length [cm]	Gesamtlänge total length [m]
29	24	16	25	-230	30	-229	475.80
30	24	16	25	-248	30	-247	512.64
31	24	16	25	-266	30	-265	549.48
32	24	16	25	-284	30	-283	586.32
33	24	16	25	-302	30	-301	623.16
34	24	16	25	-320	30	-319	660.00
35	24	16	25	-338	30	-337	696.84

Pos.	Anzahl	Ø	a	b	c	Einzellänge length [cm]	Gesamtlänge total length [m]
36	24	16	25	-356	30	-355	733.68
37	24	16	25	-374	30	-373	770.52
38	24	16	25	-392	30	-391	807.36
39	24	16	25	-410	30	-409	844.20
40	24	16	25	-428	30	-427	881.04
41	24	16	25	-446	30	-445	917.88
42	24	16	25	-464	30	-463	954.72
43	24	16	25	-482	30	-481	991.56
44	24	16	25	-500	30	-499	1028.40
45	24	16	25	-518	30	-517	1065.24
46	24	16	25	-536	30	-535	1102.08
47	24	16	25	-554	30	-553	1138.92
48	24	16	25	-572	30	-571	1175.76
49	24	16	25	-590	30	-589	1212.60
50	24	16	25	-608	30	-607	1249.44
51	24	16	25	-626	30	-625	1286.28
52	24	16	25	-644	30	-643	1323.12
53	24	16	25	-662	30	-661	1360.00
54	24	16	25	-680	30	-679	1396.84
55	24	16	25	-698	30	-697	1433.68
56	24	16	25	-716	30	-715	1470.52
57	24	16	25	-734	30	-733	1507.36
58	24	16	25	-752	30	-751	1544.20
59	24	16	25	-770	30	-769	1581.04
60	24	16	25	-788	30	-787	1617.88
61	24	16	25	-806	30	-805	1654.72
62	24	16	25	-824	30	-823	1691.56
63	24	16	25	-842	30	-841	1728.40
64	24	16	25	-860	30	-859	1765.24
65	24	16	25	-878	30	-877	1802.08
66	24	16	25	-896	30	-895	1838.92
67	24	16	25	-914	30	-913	1875.76
68	24	16	25	-932	30	-931	1912.60
69	24	16	25	-950	30	-949	1949.44
70	24	16	25	-968	30	-967	1986.28
71	24	16	25	-986	30	-985	2023.12
72	24	16</					

Obere Sohlbewehrung und Abstandhalter /
Top reinforcement foundation slab and spacers



Untere Sohlbewehrung /
Bottom reinforcement foundation slab



Obere Bewehrung / Top reinforcement

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
54.1	1	10.15	10.15
54.2	1	10.08	10.08
54.3	1	10.00	10.00
54.4	1	9.91	9.91
54.5	1	9.80	9.80
54.6	1	9.69	9.69
54.7	1	9.57	9.57
54.8	1	9.44	9.44
54.9	1	9.30	9.30
54.10	1	9.14	9.14
54.11	1	8.97	8.97
54.12	1	8.79	8.79
54.13	1	8.59	8.59
54.14	1	8.36	8.36
54.15	1	8.15	8.15
54.16	1	7.91	7.91
54.17	1	7.64	7.64
54.18	1	7.35	7.35
54.19	1	7.04	7.04
54.20	1	6.70	6.70
54.21	1	6.33	6.33
54.22	1	5.91	5.91
54.23	1	5.46	5.46
54.24	1	4.94	4.94
54.25	1	4.33	4.33
54.26	1	3.61	3.61
54.27	1	2.68	2.68
Gesamt (m)			209.81

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
55.1	1	3.76	3.76
55.2	1	3.75	3.75
55.3	1	3.73	3.73
55.4	1	3.70	3.70
55.5	1	3.68	3.68
Gesamt (m)			18.61

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
56.1	1	5.01	5.01
56.2	1	5.89	5.89
Gesamt (m)			11.90

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
57.1	1	4.87	4.87
57.2	1	4.86	4.86
57.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m)			14.56

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
59.1	1	3.08	3.08
59.2	1	3.24	3.24
59.3	1	3.40	3.40
59.4	1	3.06	3.06
59.5	1	3.23	3.23
59.6	1	3.39	3.39
Gesamt (m)			19.40

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
61.1	1	2.42	2.42
61.2	1	3.44	3.44
61.3	1	4.20	4.20
61.4	1	4.82	4.82
61.5	1	5.36	5.36
61.6	1	5.84	5.84
61.7	1	6.25	6.25
Gesamt (m)			32.32

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
62.1	1	5.38	5.38
64.2	1	5.35	5.35
64.3	1	5.32	5.32
64.4	1	5.28	5.28
Gesamt (m)			21.33

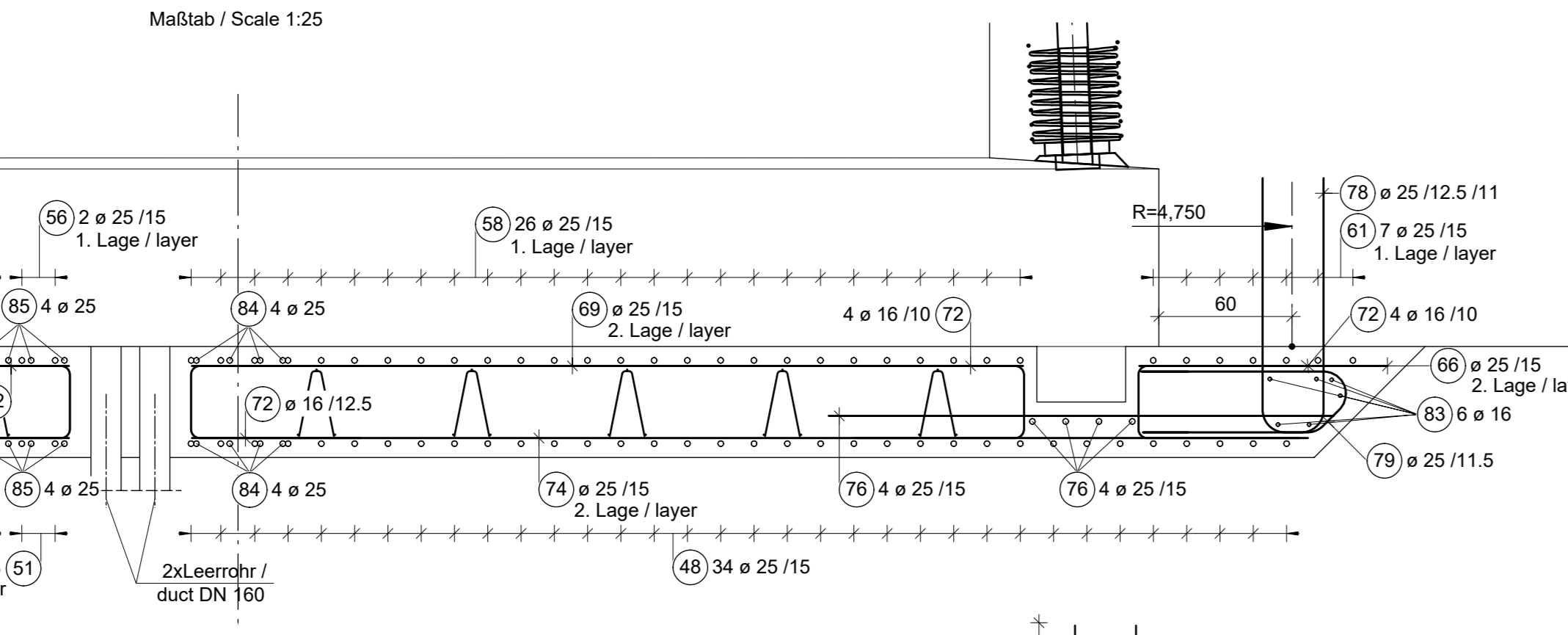
Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
65.1	1	10.38	10.38
65.2	1	10.36	10.36
65.3	1	10.33	10.33
65.4	1	10.29	10.29
Gesamt (m)			41.35

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
66.1	2	1.15	2.29
66.2	1	1.15	1.15
Gesamt (m)			3.44

Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
67.1	1	8.75	8.75
67.2	1	8.75	8.75
Gesamt (m)			17.50

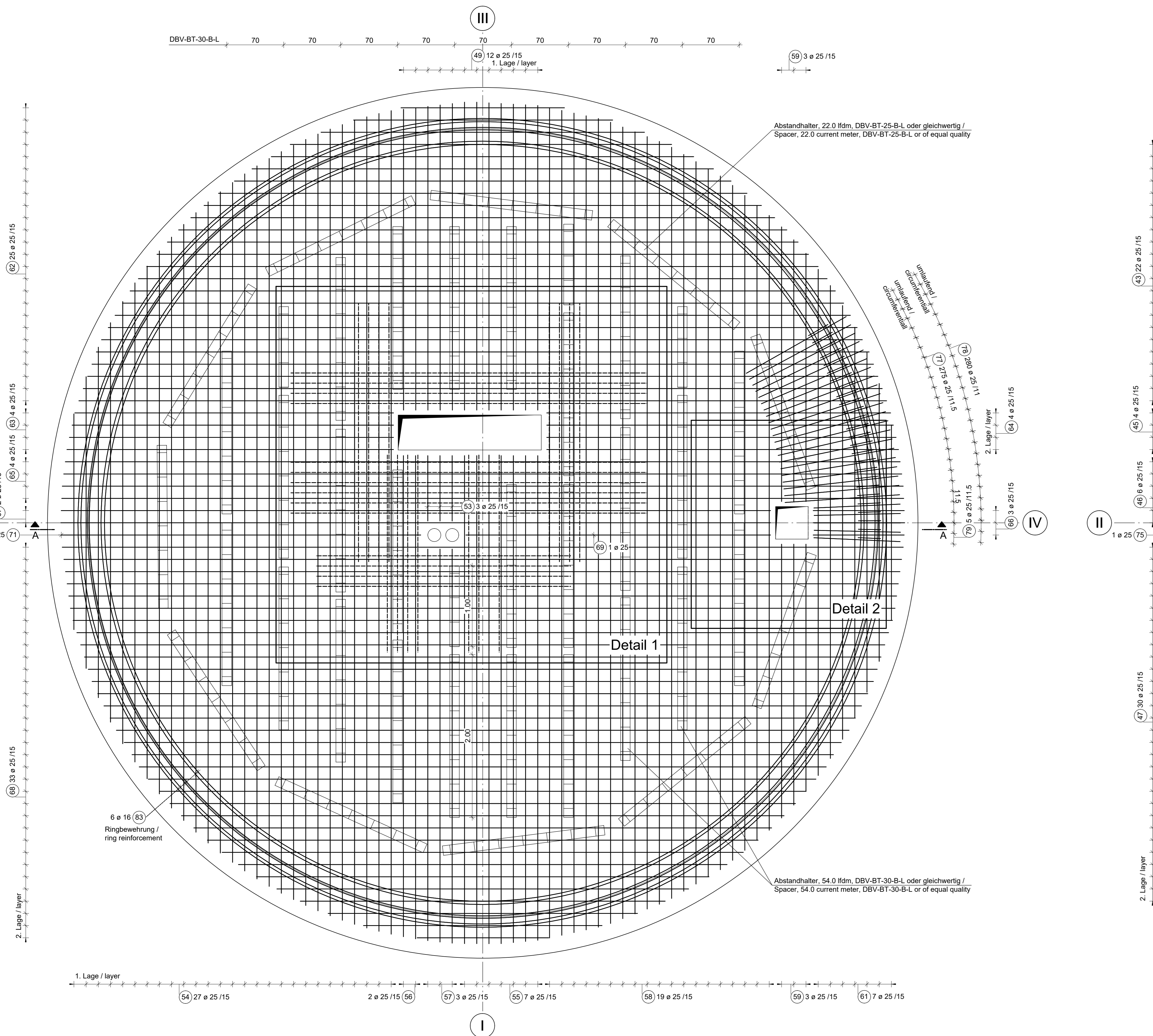
Pos.	Anzahl/Number	Länge/Length (m)	Ges.Länge/Total length (m)
68.1	1	1.64	1.64
68.2	1	2.96	2.96
68.3	1	3.83	3.83
68.4	1	4.51	4.51
68.5	1	5.09	5.09
68.6	1	5.59	5.59
68.7	1	6.03	6.03
68.8	1	6.43	6.43
68.9	1	6.80	6.80
69.0	1	7.13	7.13
69.1	1	7.43	7.43
69.2	1	7.72	7.72
69.3	1	8.07	8.07
69.4	1	8.47	8.47
69.5	1	8.85	8.85
69.6	1	9.24	9.24
69.7	1	9.61	9.61
69.8	1	9.93	9.93
69.9	1	10.24	10.24
70.0	1	10.52	10.52
70.1	1	10.77	10.77
70.2	1	11.00	11.00
70.3	1	11.20	11.20
70.4	1	11.36	11.36
Gesamt (m)			265.06

Schnitt / Cross section A-A



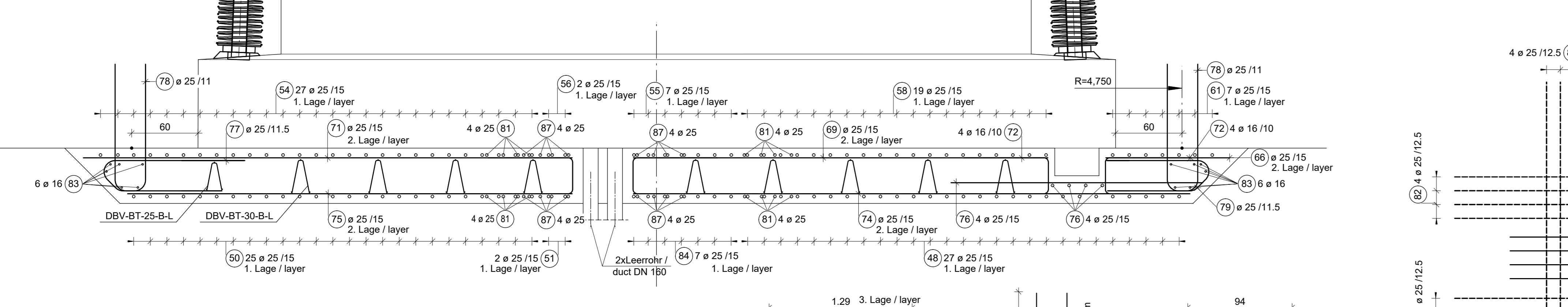
Obere Sohlbewehrung und Abstandhalter /
Top reinforcement foundation slab and spacers

Maßstab / Scale 1:25



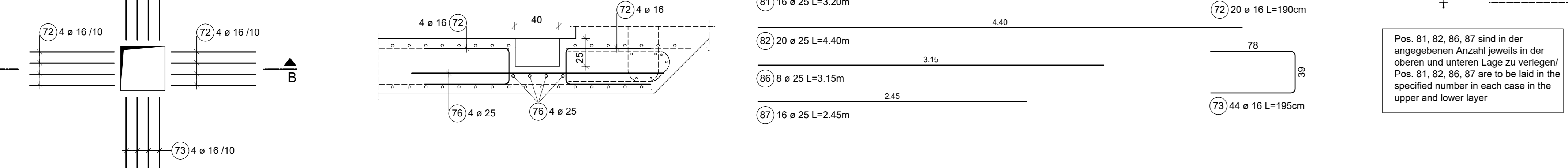
Schnitt / Cross section A-A

Maßstab / Scale 1:25



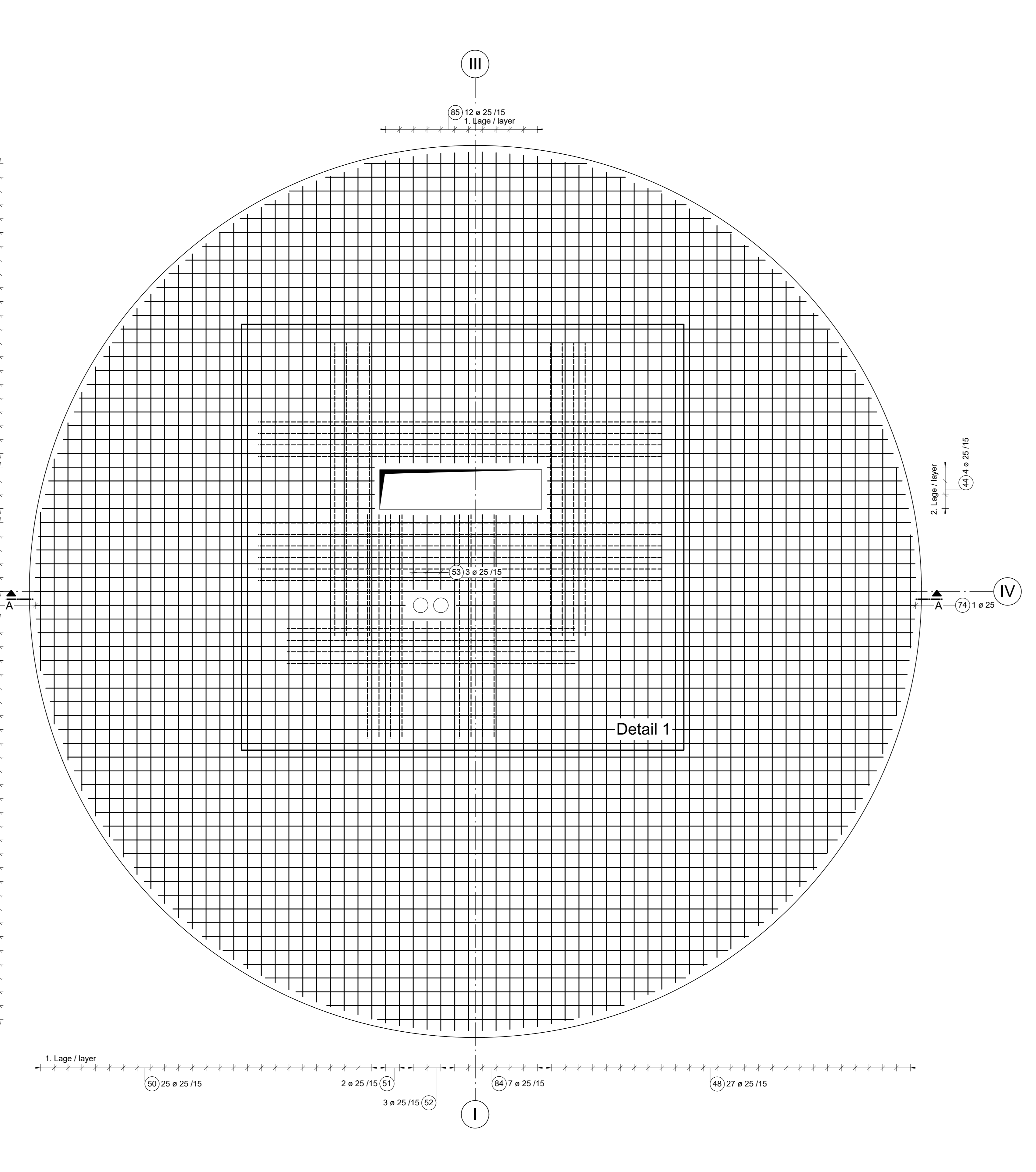
Schnitt / Cross section B-B

Maßstab / Scale 1:25



Untere Sohlbewehrung /
Bottom reinforcement foundation slab

Maßstab / Scale 1:25

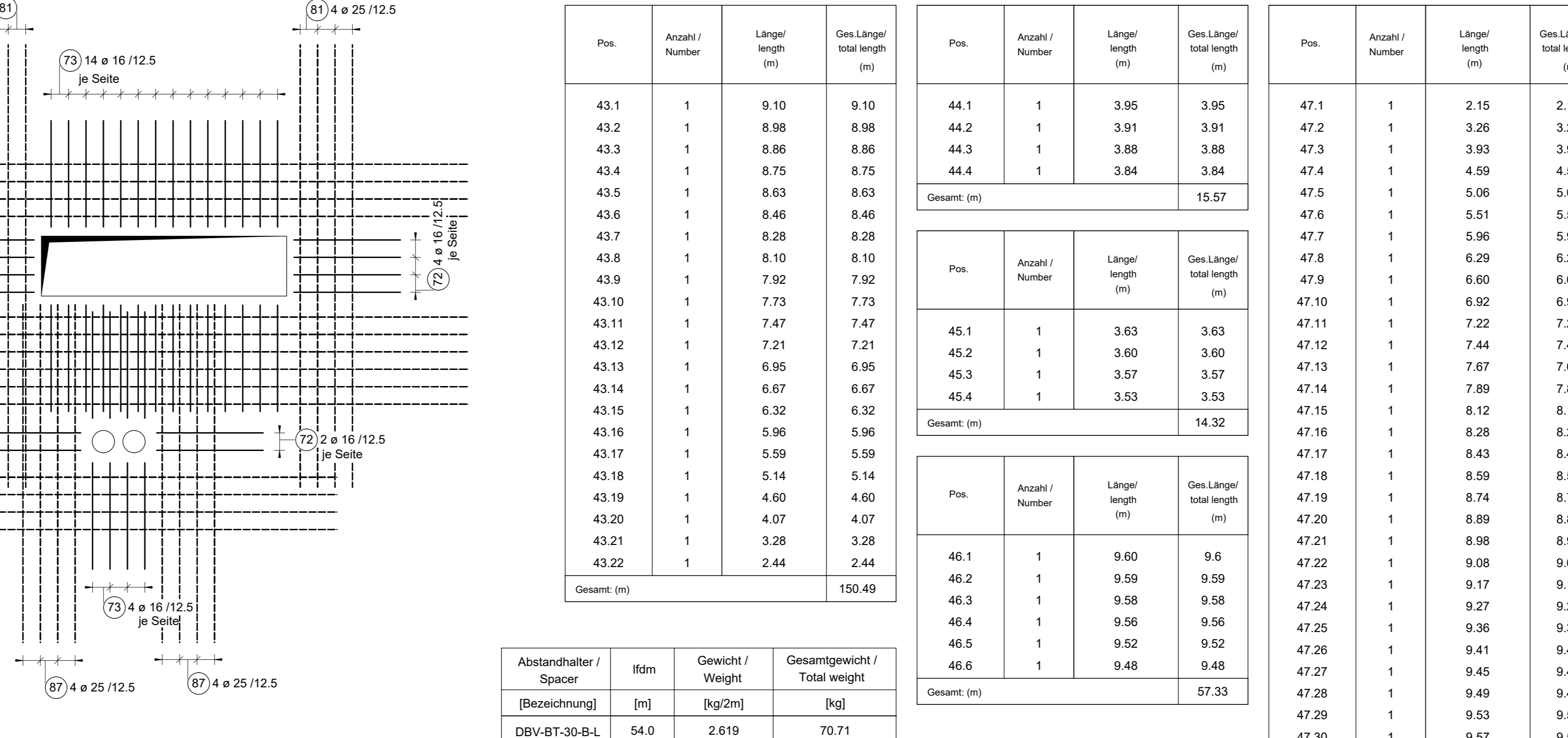


Detail 1

Öffnungen / openings

43115cm and 2243cm

Maßstab / Scale 1:25



Untere Bewehrung / Bottom reinforcement

Maßstab / Scale 1:25

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
43.1	1	9.10	9.10
43.2	1	8.98	8.98
43.3	1	8.86	8.86
43.4	1	8.75	8.75
43.5	1	8.63	8.63
43.6	1	8.46	8.46
43.7	1	8.28	8.28
43.8	1	8.10	8.10
43.9	1	7.92	7.92
43.10	1	7.73	7.73
43.11	1	7.47	7.47
43.12	1	7.21	7.21
43.13	1	6.95	6.95
43.14	1	6.67	6.67
43.15	1	6.32	6.32
43.16	1	5.96	5.96
43.17	1	5.59	5.59
43.18	1	5.14	5.14
43.19	1	4.60	4.60
43.20	1	4.07	4.07
43.21	1	3.28	3.28
43.22	1	2.44	2.44
Gesamt (m) / Total (m): 150.49			

Obere Bewehrung / Top reinforcement

Maßstab / Scale 1:25

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
54.1	1	10.15	10.15
54.2	1	10.06	10.06
54.3	1	10.00	10.00
54.4	1	9.91	9.91
54.5	1	9.80	9.80
54.6	1	9.69	9.69
54.7	1	9.57	9.57
54.8	1	9.44	9.44
54.9	1	9.30	9.30
54.10	1	9.14	9.14
54.11	1	8.97	8.97
54.12	1	8.79	8.79
54.13	1	8.59	8.59
54.14	1	8.38	8.38
54.15	1	8.15	8.15
54.16	1	7.91	7.91
54.17	1	7.64	7.64
54.18	1	7.35	7.35
54.19	1	7.04	7.04
54.20	1	6.70	6.70
54.21	1	6.33	6.33
54.22	1	5.91	5.91
54.23	1	5.46	5.46
54.24	1	4.94	4.94
54.25	1	4.33	4.33
54.26	1	3.61	3.61
54.27	1	2.88	2.88
Gesamt (m) / Total (m): 209.81			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
55.1	1	5.98	5.98
55.2	1	6.00	6.00
55.3	1	6.01	6.01
55.4	4	6.02	24.08
Gesamt (m) / Total (m): 42.07			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
56.1	1	5.96	5.96
56.2	1	5.94	5.94
Gesamt (m) / Total (m): 11.90			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
57.1	1	4.87	4.87
57.2	1	4.86	4.86
57.3	1	4.84	4.84
Gesamt (m) / Total (m): 14.56			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
58.1	1	7.58	7.58
58.2	1	7.83	7.83
58.3	1	8.08	8.08
58.4	1	8.32	8.32
58.5	1	8.55	8.55
58.6	1	8.73	8.73
58.7	1	8.9	8.9
58.8	1	9.08	9.08
58.9	1	9.26	9.26
58.10	1	9.40	9.40
58.11	1	9.52	9.52
58.12	1	9.64	9.64
58.13	1	9.75	9.75
58.14	1	9.87	9.87
58.15	1	9.96	9.96
58.16	1	10.03	10.03
58.17	1	10.10	10.10
58.18	1	10.16	10.16
58.19	1	10.23	10.23
Gesamt (m) / Total (m): 174.95			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
59.1	1	3.08	3.08
59.2	1	3.24	3.24
59.3	1	3.40	3.40
59.4	1	3.06	3.06
59.5	1	3.23	3.23
59.6	1	3.39	3.39
Gesamt (m) / Total (m): 19.40			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
61.1	1	2.42	2.42
61.2	1	3.44	3.44
61.3	1	4.20	4.20
61.4	1	4.82	4.82
61.5	1	5.36	5.36
61.6	1	5.84	5.84
61.7	1	6.25	6.25
Gesamt (m) / Total (m): 32.32			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
66.1	2	1.15	2.30
66.2	1	1.15	1.15
Gesamt (m) / Total (m): 3.44			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
62.1	1	9.06	9.06
62.2	1	9.85	9.85
62.3	1	9.74	9.74
62.4	1	9.83	9.83
62.5	1	9.53	9.53
62.6	1	9.38	9.38
62.7	1	9.23	9.23
62.8	1	9.07	9.07
62.9	1	8.89	8.89
62.10	1	8.70	8.70
62.11	1	8.49	8.49
62.12	1	8.28	8.28
62.13	1	8.04	8.04
62.14	1	7.78	7.78
62.15	1	7.50	7.50
62.16	1	7.20	7.20
62.17	1	6.88	6.88
62.18	1	6.52	6.52
62.19	1	6.13	6.13
62.20	1	5.70	5.70
62.21	1	5.22	5.22
62.22	1	4.72	4.72
62.23	1	4.00	4.00
62.24	1	3.21	3.21
62.25	1	2.24	2.24
Gesamt (m) / Total (m): 185.63			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
63.1	1	4.04	4.04
63.2	1	4.01	4.01
63.3	1	3.98	3.98
63.4	1	3.94	3.94
Gesamt (m) / Total (m): 15.97			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
64.1	1	4.35	4.35
64.2	1	4.32	4.32
64.3	1	4.29	4.29
64.4	1	4.25	4.25
Gesamt (m) / Total (m): 17.21			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
65.1	1	5.58	5.58
65.2	1	5.59	5.59
65.3	1	5.61	5.61
65.4	3	5.62	16.86
65.5	1	5.63	5.63
Gesamt (m) / Total (m): 39.26			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
67.1	1	8.75	8.75
67.2	1	8.75	8.75
Gesamt (m) / Total (m): 17.50			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
68.1	1	1.64	1.64
68.2	1	2.96	2.96
68.3	1	3.63	3.63
68.4	1	4.51	4.51
68.5	1	5.09	5.09
68.6	1	5.59	5.59
68.7	1	6.03	6.03
68.8	1	6.43	6.43
68.9	1	6.80	6.80
68.10	1	7.13	7.13
68.11	1	7.43	7.43
68.12	1	7.72	7.72
68.13	1	7.96	7.96
68.14	1	8.23	8.23
68.15	1	8.47	8.47
68.16	1	8.65	8.65
68.17	1	8.84	8.84
68.18	1	9.03	9.03
68.19	1	9.19	9.19
68.20	1	9.34	9.34
68.21	1	9.49	9.49
68.22	1	9.63	9.63
68.23	1	9.72	9.72
68.24	1	9.82	9.82
68.25	1	9.91	9.91
68.26	1	10.01	10.01
68.27	1	10.10	10.10
68.28	1	10.16	10.16
68.29	1	10.20	10.20
68.30	1	10.24	10.24
68.31	1	10.28	10.28
68.32	1	10.32	10.32
68.33	1	10.36	10.36
Gesamt (m) / Total (m): 265.06			

Pos.	Anzahl / Number	Länge / length (m)	Ges.Länge / total length (m)
84.1	1	5.58	5.58
84.2	1	5.59	5.59
84.3	1	5.61	5.61
84.4	3	5.62	16.86
84.5	1	5.63	5.63
Gesamt (m) / Total (m): 39.26			

Stahlstiele Bodenplatte / steel shedule base plate

Maßstab / Scale 1:25

Pos.	Anzahl / Number	Ø	Länge / length (m)	Gesamtlänge / Subtotal length (m)
016	1	16	0.25	0.25
43	22	25	6.84	150.48
44	4	25	3.80	15.07
45	4	25	3.58	14.32
46	6	25	9.55	57.33
47	30	25	7.40	224.77
48	27	25	7.08	191.21
49	12	25	3.78	45.33
50	25	25	6.97	174.37
51	2	25	5.55	11.11
52	3	25	4.48	13.38
53	6	25	0.83	4.98
54	27	25	7.77	209.81
55	7	25	6.01	42.07
56	2	25	5.97	11.90
57	3	25	4.87	14.56
58	19	25	9.21	174.95
59	6	25	3.27	19.40
61	7	25	4.62	32.32
62	25	25	7.47	185.63
63	4	25	3.97	15.97
64	4	25	4.37	17.21
65	4	25	10.34	41.35
66	3	25	1.15	3.44
67	2	25	8.75	17.50
68	33	25	8.03	265.06
69	1	25	3.77	3.77
71	1	25	4.45	4.45
72	20	16	1.90	38.00
73	44	16	1.95	85.80
74	1	25	5.02	5.02
75	1	25	4.05	4.05
76	8	25	2.30	18.40
77	275	25	2.50	687.50
78	280	25	2.64	739.20
79	5	25	2.00	10.00
81	16	25	3.20	51.20
82	20	25	4.40	88.00
83	6	16	8.0m	203.20
84	7	25	5.61	39.26
85	12	25	3.37	40.46
86	8	25	3.15	25.20
87	16	25	2.45	39.20
Gesamtlänge je Durchmesser / Length acc. to diameters (m): 327.00				
Gesamtlänge je Durchmesser / Subtotal length acc. to diameters (m): 158.36				
Gesamtlänge je Durchmesser / Subtotal length acc. to diameters (m): 142.64				
Gesamtlänge je Durchmesser / Subtotal length acc. to diameters (m): 147.96				

Abstandhalter / Spacers

Abstandhalter / Spacer	RdM	Gewicht / Weight	Gesamtgewicht / Total weight
[Bzeichnung] [mm]	[mm]	[kg/2m]	[kg]
DBV-BT-30-B-L	54.0	2.619	70.71
DBV-BT-25-B-L	22.0	2.038	22.42

Abstandhalter / Spacers

Abstandhalter / Spacer	RdM	Gewicht / Weight	Gesamtgewicht / Total weight
[Bzeichnung] [mm]	[mm]	[kg/2m]	[kg]
DBV-BT-30-B-L	54.0	2.619	70.71
DBV-BT-25-B-L	22.0	2.038	22.42

Abstandhalter / Spacers

Abstandhalter / Spacer	RdM	Gewicht / Weight	Gesamtgewicht / Total weight
[Bzeichnung] [mm]	[mm]	[kg/2m]	[kg]
DBV-BT-30-B-L	54.0	2.619	70.71
DBV-BT-25-B-L	22.0	2.038	22.42

Fundamentdatenblatt

Foundation Data Sheet

E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01

Flachgründung mit Teilauftrieb
Flat Foundation with partly Buoyancy

WZ 3 GK I, GK II (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012)
WTC IIA (IEC 61400-1, 3rd Edition, 2005-08)

Anlage zum Prüfbericht zur Typenprüfung
Nr.: T-7016/20-3 Rev. 0
vom 19. März 2021



Herausgeber	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109 E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360
Urheberrechtshinweis	Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist. Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten. Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden. Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.
Geschützte Marken	Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.
Änderungsvorbehalt	Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Publisher	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Germany Phone: +49 4941 927-0 ▪ Fax: +49 4941 927-109 E-mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de Managing Directors: Hans-Dieter Kettwig Local court: Aurich ▪ Company registration number: HRB 411 VAT ID no.: DE 181 977 360
Copyright notice	The entire content of this document is protected by copyright and – with regard to other intellectual property rights – international laws and treaties. ENERCON GmbH holds the rights in the content of this document unless another rights holder is expressly identified or obviously recognisable. ENERCON GmbH grants the user the right to make copies and duplicates of this document for informational purposes for its own intra-corporate use; making this document available does not grant the user any further right of use. Any other duplication, modification, dissemination, publication, circulation, surrender to third parties and/or utilisation of the contents of this document – also in part – shall require the express prior written consent of ENERCON GmbH unless any of the above is permitted by mandatory legislation. The user is prohibited from registering any industrial property rights in the know-how reproduced in this document, or for parts thereof. If and to the extent that ENERCON GmbH does not hold the rights in the content of this document, the user shall adhere to the relevant rights holder's terms of use.
Registered trademarks	Any trademarks mentioned in this document are intellectual property of the respective registered trademark holders; the stipulations of the applicable trademark law are valid without restriction.
Reservation of right of modification	ENERCON GmbH reserves the right to change, improve and expand this document and the subject matter described herein at any time without prior notice, unless contractual agreements or legal requirements provide otherwise.

Dokumentinformation / Document details

Dokument-ID Document ID	D0870411-4
Vermerk Note	Originaldokument Original document

Datum Date	Sprache Language	DCC	Werk / Abteilung Plant / Department
2020-09-18	de;en	DA	WRD / Türme und Fundamente WRD / Towers and Foundations

Ergänzende Angaben / Additional notes

Angaben zum Original (ger;eng) Original document details		Angaben zur Übersetzung (--) Translation details	
Erstellt/Datum: Created/Date:	Cygon, K. / 2019-09-13	Übersetzt/Datum: Translated/Date:	
Geprüft/Datum: Checked/Date:	Meyerhoff, F. / 2019-09-13	Geprüft/Datum: Checked/Date:	

Revisionen / Revisions

Rev.	Datum/Date	Änderung/Change	Erstellt/Created
0	2019-09-13	Dokument erstellt Document created	KCY
1	2019-11-27	Entwurfsstatus aufgehoben; komplette Anpassung an statische Berechnung, Sohlreibungswinkel ergänzt Draft status removed; complete adaptation to the structural calculation, angle of internal friction added	KCY
2	2019-12-16	Stahlgewicht B400 ergänzt, Bearbeitungsdatum der Statik entfernt Steel weight B400 added, editing date of structural analysis removed	KCY
3	2020-09-09	Stahlmenge für B 500B angepasst / Steel quantity adapted for B 500B	JAV
4	2021-01-15	Dokument aktualisiert gem Neue Bauvorlage fundamentlasten / Document up-dated acc. to new foundation loads	SMS



Dieses Dokument wurde auf Anfrage bzw. für einen bestimmten Auftrag verschickt. Der Empfänger wurde nicht registriert. Der Empfänger wird bei Änderung nicht automatisch informiert.

This document has been forwarded upon request or with regard to a specific order. The recipient has not been registered. The recipient will not be automatically notified about any amendments.

© ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten. / All rights reserved.

1 Allgemeine Angaben / General information

 Typenstatik H+P Ingenieure GmbH

Flachgründung mit Teilauftrieb

Ø 20,20 m

Design-specific structural analysis

Auftrag Nr.

E19-047 / 08.09.2020

Flat Foundation with partly Buoyancy

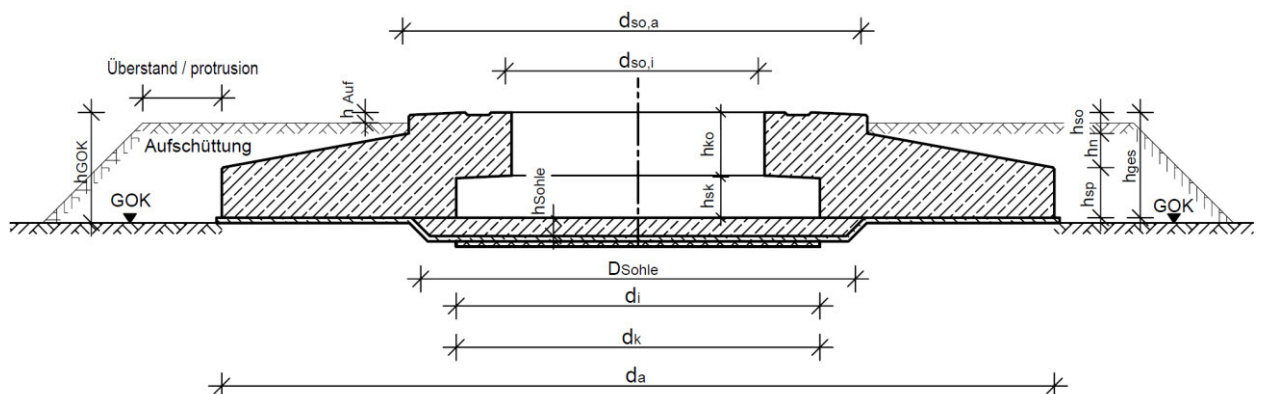
E20-063 / 21.12.2020

Order no.



2 Fundamentgeometrie / Foundation dimensions

Außendurchmesser	d_a	20,20	m	Outer diameter
Innendurchmesser	d_i	8,30	m	Inner diameter
Durchmesser kompressible Einlage	d_k	8,30	m	Compressible layer diameter
Sockeldurchmesser - außen	$d_{so,a}$	10,70	m	Base diameter - outside
Sockeldurchmesser - innen	$d_{so,i}$	6,80	m	Base diameter - inside
Fundamenthöhe	h_{ges}	2,45	m	Foundation height
Sockelhöhe	h_{so}	0,40	m	Base height
Höhe Spornneigung	h_n	1,00	m	Spur incline height
Spornhöhe	h_{sp}	1,05	m	Spur height
Differenz Fundamentoberkante - GOK	h_{GOK}	2,55	m	Difference between foundation top edge and ground level
Differenz Fundamentoberkante - Oberkante Aufschüttung	h_{Auf}	0,20	m	Difference between foundation top edge and top edge of backfill
Höhe der Fundamentsohle	h_{Sohle}	0,50	m	Height of foundation bottom
Durchmesser der Fundamentsohle (gemittelt)	d_{Sohle}	10,20	m	Diameter of foundation bottom (averaged)
Höhe Konsole (gemittelt)	h_{ko}	1,625	m	Corbel height (averaged)
Höhe Spanraum (gemittelt)	h_{sk}	0,825	m	Prestressing room height (averaged)
Fundament:				Foundation:
Betongüte und Volumen	C 30/37	460	m ³	Concrete quality and volume
Betonstahl und Gewicht	B 500B	68,5	t	Reinforcement steel and weight
	B 400B	72,8	t	
Fundamentsohle:				Foundation bottom:
Betongüte und Volumen	C 30/37	41	m ³	Concrete quality and volume
Betonstahl und Gewicht	B 500B	14,9	t	Reinforcement steel and weight
	B 400B	16,1	t	



Der erforderliche Überstand der Bodenauflast über die Fundamentaußenkanten ist durch einen Baugrundgutachter festzulegen.

The required protrusion of the backfill beyond the outer edges of the foundation must be defined by a geotechnical expert.



3 Mindestdrehfedersteifigkeiten Minimum rotational spring stiffness

Für die elastische Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund sind folgende Mindestwerte einzuhalten:

Observe the following minimum values with regard to elastic clamping between foundation and subsoil:

Gesamtsystem / Total system (Turm und Gründung / Tower and foundation)	kϕ,stat 10000 MNm/rad
	kϕ,dyn 100000 MNm/rad

Die erforderlichen dynamischen Steifemodule ($E_{oed,dyn}$) ergeben sich in Abhängigkeit von Fundamentgeometrie und Querdehnzahl.

The resulting required dynamic stiffness moduli ($E_{oed,dyn}$) depend on the foundation dimensions and Poisson's ratio.

Ersatzradius für den gleich steifen Kreis:

$$r = 10,03 \text{ m}$$

Equivalent radius of a circle with the same stiffness:

Für Kreisfundamente gilt:

$$k_{\phi} = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$$

Following applies to circular foundations:

daraus folgt:

$$E_{oed,dyn} = k_{\phi} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - \nu)^2}{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}$$

This means that:

G = Schubmodul / *Shear modulus* in MN/m²
 r = Radius / *Radius* in m
 ν = Querdehnzahl / *Poisson's ratio*

4 Zulässige Schiefstellung / Allowed misalignment

Maximal zulässige Schiefstellung infolge Baugrundsetzung in 25 Jahren bezogen auf den Außendurchmesser:

Maximum allowed misalignment due to subsoil settlement within 25 years, related to the outer diameter:

$$\Delta s \leq 3 \text{ mm/m}$$

5 Bodenpressung / Soil bearing pressure

Der anstehende Baugrund muss mindestens folgende Bodenpressung aufnehmen können:

The in-situ subsoil must be able to bear the following minimum pressure:

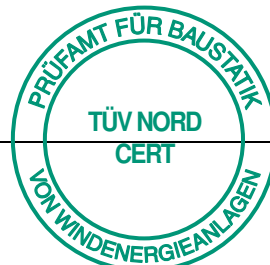
$$\sigma_{k,vorh} = 360 \text{ kN/m}^2$$

6 Sohlreibungswinkel / Angle of internal friction

Mindestreibungswinkel zwischen Baugrund und Fundament:

Minimum angle of internal friction between subsoil and foundation:

$$\phi = 20^\circ$$



7 Lasten an der Fundamentunterkante Loads at the bottom edge of the foundation

Die hier angegebenen F_Z -Lasten enthalten ein Fundamenteigengewicht $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ und eine Bodenauflast $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ im erdfeuchten Zustand.

The F_Z loads specified here include a dead weight of foundation $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ and a soil weight $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ in earth-moist condition.

7.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	$(\gamma_{G,\min}/\gamma_{G,\max})$	$F_{XY} \text{ [kN]}$	$F_{Z,\min} \text{ [kN]}$ ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max} \text{ [kN]}$ mit Auftrieb with buoyancy	$M_{XY} \text{ [kNm]}$	$M_Z \text{ [kNm]}$
NTM DLC D.3	(1.00/1.00)	880	-31287	-29700	86106	-
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1560	-31287	-29700	137772	-8300
N / A / T	(1.00/1.00)	1560	-31307	-29700	159672	-8300

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_G = 1,00$)

Loads do not include partial safety factors
($\gamma_G = 1.00$)

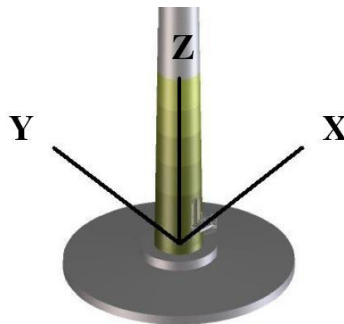
7.2 Bemessungswerte der Lastfälle / Load case design values

Lastfall Load case	$(\gamma_{G,\min}/\gamma_{G,\max})$	$F_{XY} \text{ [kN]}$	$F_{Z,\min} \text{ [kN]}$ ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{Z,\max} \text{ [kN]}$ mit Auftrieb with buoyancy	$M_{XY} \text{ [kNm]}$	$M_Z \text{ [kNm]}$
N / A / T	(1.35/0.90)	2120	-38259	-26663	195194	-11150

alle Lasten inklusive Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_{\text{Auftrieb}} = 1,10$)

All loads include partial safety factors
($\gamma_{\text{Buoyancy}} = 1.10$)

8 Koordinatensystem / Coordinate system



Zusammenstellung Gutachtlicher Stellungnahmen

für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-115 EP3 E3

TÜV NORD Bericht Nr.: 8116 503 696 D Rev. 0

Anlagenspezifikation:
Bezeichnung: ENERCON E-115 EP3 E3
Rotorblatt: E-115 EP3-RB-03
Max. Nennleistung: 4,2 MW
Nabenhöhen: 122 m, 135 m, 149 m

Standortspezifikation:
Windzonen: diverse
Geländekategorie: GK I & II

Anlagenhersteller:
ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

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

Diese Zusammenstellung umfasst 5 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	19.02.2021	Erstausgabe	K. Götz

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Lastannahmen	3
1.2	Sicherheitssystem und Handbücher.....	3
1.3	Elektrische Komponenten und Blitzschutz	3
1.4	Rotorblatt.....	4
1.5	Maschinenbauliche Komponenten	4
1.6	Verkleidungen und Strukturen.....	4
2	Prüfgrundlagen	4
3	Hinweise und Bedingungen	5

1 Dokumente

1.1 Lastannahmen

- [1.1.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, NH 122 m (E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01), DIBt WZ S, GK I&II -
Lastannahmen für Turm und Fundament -
Bericht Nr.: 8116 503 696-1 D V
Rev. 0, vom 09.07.2020
- [1.1.2] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, NH 135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01), DIBt WZ 3, GK I&II -
Lastannahmen für Turm und Fundament -
Bericht Nr.: 8116 503 696-1 D II
Rev. 2, vom 03.07.2020
- [1.1.3] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, NH 149 m (E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01), DIBt WZ S, GK I&II -
Lastannahmen für Turm und Fundament -
Bericht Nr.: 8116 503 696-1 D VI
Rev. 0, vom 30.06.2020
- [1.1.4] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II - Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8116 503 696-1 D III
Rev. 2, vom 20.07.2020

1.2 Sicherheitssystem und Handbücher

- [1.2.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme - Windenergieanlage ENERCON E-115 EP3 E3 nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)
- Sicherheitssystem und Handbücher -
Bericht Nr.: 8116 503 696-2 D
Rev. 3, vom 16.11.2020

1.3 Elektrische Komponenten und Blitzschutz

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme ENERCON E-115 EP3 E3 - Elektrische Komponenten und Blitzschutz -
Bericht Nr.: 8116 503 696-5 D
Rev. 2, vom 19.02.2021

1.4 Rotorblatt

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage
E-115 EP3 E3, unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen
- Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 -
Bericht Nr.: 8116 503 696-3 D
Rev. 1, vom 13.01.2021

1.5 Maschinenbauliche Komponenten

- [1.5.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlagen
ENERCON E-115 EP3 E3 - Maschinenbauliche Komponenten -
Bericht Nr.: 8116 503 696-4 D
Rev. 1, vom 24.11.2020

1.6 Verkleidungen und Strukturen

- [1.6.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2 - Verkleidungen & Strukturen -
Bericht Nr.: 8116 503 696-12 D
Rev. 2, vom 27.11.2020

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):
Richtlinie für Windenergieanlagen
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen
(IEC 61400-1:2005 + A1:2010)
Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010

3 Hinweise und Bedingungen

Die Gutachtlichen Stellungnahmen unter Kapitel 1 wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen der Prüfgrundlagen unter Kapitel 2 erstellt.

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

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

Sachverständige:

A handwritten signature in blue ink that reads "Katja Götz". The signature is written in a cursive style.

Dipl.-Technomath. Katja Götz

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink that reads "C. Hering". The signature is written in a cursive style.

Dipl.-Ing. Christian Hering

Gutachtliche Stellungnahme

**Windenergieanlage ENERCON E-115 EP3 E3
nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)**

- Sicherheitssystem und Handbücher-

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8116 503 696-2 D Rev. 3

Prüfgegenstand: Konzeptprüfung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher für die ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	05.12.2019	Erstausgabe	O. Raupach
1	12.05.2020	Aktualisierte Unterlagen	O. Raupach
2	12.08.2020	Ergänzung von Unterlagen (Derating Kurven)	O. Raupach
3	16.11.2020	Ergänzung HST 122 und HST 149, Revision von Unterlagen, Löschung einer Auflage, Hinzufügung eines Hinweises auf dem Deckblatt, redaktionelle Änderungen	O. Raupach

Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen	3
1.1	Geprüfte Unterlagen	3
1.2	Zugehörige Unterlagen	5
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einführung	7
4	Beschreibung der Windenergieanlage	7
4.1	Konfiguration	7
4.2	Temperaturvarianten	8
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	8
4.4	Mechanische Bremse	9
5	Durchgeführte Prüfung	9
5.1	Prüfmethodik	9
5.2	Anmerkungen	10
5.3	Prüfergebnisse	10
5.3.1	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	10
5.3.2	Qualitätsmanagement	10
5.3.3	Performance Level	10
5.3.4	Handbücher	11
5.4	Schnittstellen	11
6	Auflagen und Hinweise	11
7	Schlussfolgerung	12

1 Eingereichte Unterlagen

1.1 Geprüfte Unterlagen

- [1.1.1] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Elektrisches Blattverstellungssystem E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2
Dokument-ID: D0854579-0
Rev. 0, Datum 29.08.2019
- [1.1.2] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Fehlermodes Control System E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0871363-1
Rev. 1, Datum 16.03.2020
- [1.1.3] ENERCON GmbH
Risikobeurteilung E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D074913-4 Risikobeurteilung E-115 EP3 E3.xlsx
Rev. 4, Datum 04.11.2019
- [1.1.4] ENERCON GmbH
E-115 EP3 E3 System Requirement Specification - Scoping
Dokument-ID: D0754731-2
Rev. 2, Datum 22.08.2019
- [1.1.5] ENERCON GmbH
Safety Concept /Safety Requirement Specification
E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0830549-0a / DB
Rev. 0a, Datum 02.08.2019
- [1.1.6] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Bestimmung der Performance Level EP-SCS-02
Dokument-ID: D0757007-0
Rev. 0, Datum 17.05.2019
- [1.1.7] ENERCON GmbH
System FMEA E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0889800-0
Workshop 19, Datum 04.11.2019

- [1.1.8] ENERCON GmbH
Parameterliste
Safety System E-138 EP3 E2, E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0889041-2
Rev. 2, Datum 15.11.2019

- [1.1.9] ENERCON GmbH
Betriebsanleitung
Beschreibung und Bedienung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0876392-1
Rev. 1, Datum 14.10.2020

- [1.1.10] ENERCON GmbH
Aufbauanleitung
Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul
Dokument-ID: TD-esc-08-de-de-16-015 Rev003b
Rev. 3b, Datum 15.04.2019

- [1.1.11] ENERCON GmbH
Aufbauanleitung Generelle Aufbauanleitung Hybridurm (HT)
Dokument-ID: TD-esc-08-de-de-15-001 Rev013
Rev. 13, Datum 18.04.2019

- [1.1.12] ENERCON GmbH
Montageanleitung
Vormontage und Montage Gondel
Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: TD-esc-08-de-de-19-051 Rev000
Rev. 0, Datum 30.08.2019

- [1.1.13] ENERCON GmbH
Arbeitsanleitung
Mechanische Inbetriebnahme und 300 h-Wartung
Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0859071-0
Rev. 0, Datum 26.08.2019

- [1.1.14] ENERCON GmbH
Wartungsanleitung
Hauptwartung Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0948248-1
Rev. 1, Datum 30.04.2020

- [1.1.15] ENERCON GmbH
Inbetriebnahmeanleitung (elektrisch)
Inbetriebnahme ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0858931-Rev000
Rev. 0, Datum 15.08.2019
- [1.1.16] ENERCON GmbH
Verladehandbuch
E-115 E3/E-126/E-138 E1E2 EP3
Dokument-ID: PLM-TES-DC032-VH_E-115E3_E-126_E-138E1E2_EP3-
Rev001de-de
Rev. 1, Datum 25.10.2019
- [1.1.17] ENERCON GmbH
Prototypentestplan
E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0838022-0
Rev. 0, Datum 04.11.2019
- [1.1.18] ENERCON GmbH
Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften, WEA Service
Dokument-ID: BA_bl_1001-1_Gesundheits-, Arbeits- und
Umweltschutzvorschriften_WEA-Service_Rev001_de-de
Rev. 1, Datum 12.12.2019
- [1.1.19] ENERCON GmbH
Stellungnahme des Betriebs in Abhängigkeit der Außentemperatur für NC u. CC
Dokument-ID.: D0942308-0 / DZ
Rev. 0, Datum 25.03.2020
- [1.1.20] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung Derating-Kurven E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0982561-0 / DB
Rev. 0, Datum 13.07.2020
- [1.1.21] ENERCON GmbH
Verladehandbuch Stahltürme (ST/MST/HST)
Dokument-ID: PLM-TES-DC026-VH_Stahltürme_ST_MST_HST-Rev002de-de
Rev. 2, Datum 12.09.2020

1.2 Zugehörige Unterlagen

- [1.2.1] ENERCON GmbH
Design Basis documentation
Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0832892-1
Rev. 1, Datum 04.11.2019

- [1.2.2] ENERCON GmbH
Design Basis
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen”
Document-ID: D0666243-3
Rev. 3, Datum 30.07.2018

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Safety Plan / Sicherheitsplan
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0815639-2
Rev. 2, Datum 18.10.2019

- [1.2.4] ENERCON GmbH
Enersafe Report
Dokument-ID.: Enersafe_Report_2019_08_09.pdf
Rev. 0, Datum 09.08.2019

- [1.2.5] ENERCON GmbH
V&V-Plan
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0870816-1 / DZ
Rev. 1, Datum 14.01.2020

- [1.2.6] ENERCON GmbH
WEA Systementwurf E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D087688172-2 / DB
Rev. 2, Datum 30.04.2020

- [1.2.7] ENERCON GmbH
Stellungnahme Errichtungshandbücher
Dokument-ID: D0828100-1 / DZ
Rev. 1, Datum 06.11.2019

- [1.2.8] ENERCON GmbH
Überdrehzahlabschaltungen
Dokument-ID: D0714684-0
Eingereicht: 15.06.2018

- [1.2.9] ENERCON GmbH
Erkennung von nicht durchgeführter Azimutverstellung
Dokument-ID: D0801103-0 / DD
Eingereicht: 06.03.2019

- [1.2.10] ENERCON GmbH
Stellungnahme Anleitung HST-Türme
Dokument-ID: D02162828/1.0-de / DD
Datum 12.11.2020

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Fassung Oktober 2012
- [2.2] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, 2005-08
- [2.3] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, Amendment 1, 2010-10

3 Einführung

Die Prüfung umfasst die eingereichten Unterlagen [1.1.1] – [1.1.17] und wurde auf Grundlage der in [2] genannten Richtlinien hinsichtlich des Konzepts des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher durchgeführt. Die Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Konfiguration

Die ENERCON E-115 EP3 E3 ist eine dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlage mit einer maximalen Nennleistung von 4200 kW. Die Windenergieanlagen arbeiten nach dem Prinzip variabler Leistung durch Einzelblattverstellung. Das Hauptbremssystem der ENERCON E-115 EP3 E3 Windenergieanlage ist die aerodynamische Bremse durch die axiale Drehung der Rotorblätter, die in einem Bereich zwischen 0° und 92° bewegt werden können.

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

Typ	E-115 EP3 E3
Windklasse	IEC IIIA / DIBt WZ 2 GK2 / WZ S GK2
Nennleistung (max.)	4200 kW
Rotorblatt (Durchmesser)	E-115 EP3-RB-03 (115.71m)
Turm (Nabenhöhe)	ST (67 m, 87 m, 92 m) HT (135 m) HST (122 m, 149 m)
Nenn Drehzahl	12.9 min ⁻¹
Drehzahlgrenze Betriebsführung	15.2 min ⁻¹

Drehzahlgrenze Sicherheitssystem	16.5 min ⁻¹
Einschaltwindgeschwindigkeit	2.5 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	34 m/s (Beginn der Sturmregelung bei 25 m/s)
Safety Controller / Hersteller	EP-SCS-02 / Bachmann MX220/CF
Controller Softwareversion	EP3-CS-02
Sicherheitssystemversion	V1.08 (checksum A: 0xA1F3812F B: 0xA66DBB79)
Netzfrequenz	50/60Hz
Design-Lebensdauer	25 Jahre
Pitchsystem	elektrische Antriebe (DC) für jedes der drei Rotorblätter, Kondensatoren für die Notstromversorgung

4.1: Konfiguration

4.2 Temperaturvarianten

Die Windenergieanlage E-115 EP3 E3 wurde für den unbegrenzten Betrieb in mitteleuropäischem Klima entwickelt, d. H. für einen Temperaturbereich von -15°C bis mindestens +25°C (Standard-Paket). Bei höheren Umgebungstemperaturen und gleichzeitig starkem Wind kann das Betriebsführungssystem die Windenergieanlage, abhängig von den aktuellen Standortbedingungen, mit reduzierter Leistung betreiben (s.[1.1.20]).

Im Temperaturbereich von -15°C bis -25°C wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Wenn die Temperatur unter -25°C fällt, stoppt die Windenergieanlage.

Für Standorte mit kaltem Klima (Cold-Climate-Paket) reicht der unbegrenzte Betriebsbereich von -30°C bis +25°C. Unterhalb dieser Temperatur wird die Leistung linear auf 25% reduziert, bis eine Temperatur von -40°C erreicht ist. Ab dieser Temperatur wird der Betrieb gestoppt. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von -35°C wieder möglich.

Bei Überschreitung der Beschleunigungsgrenzen, die durch einen vereisten Rotor mit Unwucht verursacht werden, wird die Windenergieanlage abgeschaltet. Darüber hinaus ist die E-115 EP3 E3 mit einem Eiserkennungssystem ausgestattet.

4.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Das Sicherheitssystem ist unabhängig vom Betriebsführungssystem und diesem logisch übergeordnet. Das Sicherheitssystem löst bei Überschreitung von kritischen Grenzwerten eine Notbremsung aus. Die Überwachung durch das Sicherheitssystem umfasst u.a. die folgenden Funktionen:

- Not-Halt-Taster

- Rotordrehzahl
- Gondelschwingung
- Überwachung des Kontrollsystems
- Überwachung der Kabelverdrillung

Nach Auslösen des Sicherheitssystems ist ein automatischer Neustart der Anlage nicht möglich.

Der Ausfall von einer der drei Blattverstellungen führt nicht zu einem unsicheren Zustand, sondern löst sofort eine Abschaltung der Windenergieanlage aus (2oo3 Redundanz).

Die Azimutantriebe werden bei Betätigung des Not-Halt-Tasters in der Gondel oder einem Fehler im Azimutsystem ausgeschaltet. Im Wartungsmodus sind die Azimutantriebe ebenfalls deaktiviert.

Detaillierte Informationen sind in [1.1.2], [1.1.5] und [1.2.4] enthalten.

4.4 Mechanische Bremse

Die mechanische / hydraulische Scheibenbremse sorgt für einen vollständigen Stillstand des Rotors bei Betätigung des Not-Halt-Tasters in der Gondel sowie im manuellen Servicebetrieb. Sie dient nicht als Betriebsbremse, sondern zum provisorischen Festhalten des bereits angehaltenen Rotors, um diesen zu arretieren.

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethodik

Die Bewertung erfolgte durch Überprüfung der zugehörigen Dokumentation in Bezug auf die Anforderungen in den angewandten Standards [2].

Das Design der unabhängigen Bremssysteme sowie die unabhängige und übergeordnete Funktion des Sicherheitssystems wurde überprüft.

Mit Hilfe der Fehleranalyse [1.1.7] wurde das Sicherheitssystem auf seine Fähigkeit, die Windenergieanlage bei Ausfall der Steuerung in einem sicheren Zustand zu halten überprüft. Mit [1.1.6] wurden die Performance Level der Schutzfunktionen gemäß den Anforderungen der EN ISO 13849-1 überprüft.

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

Es wurde überprüft, ob die in [2.1] bzw. [2.2] geforderten Informationen in den jeweiligen Handbüchern enthalten sind.

Die Überprüfung aller angegebenen Parameter und Software-Validierung sowie eine vollständige Überprüfung aller Spezifikationen, z.B, Schraubenmomente, Schmierstoffe, Gewichte und Abmessungen, elektrische Eigenschaften etc. sind nicht Bestandteil dieses Prüfberichts.

5.2 Anmerkungen

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

5.3 Prüfergebnisse

5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems ist geeignet, den sicheren Betrieb der ENERCON E-115 EP3 E3 Windenergieanlage zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

Die Beschreibung (das Blockschaltbild) des automatischen Wiederauffahrens nach Fehlern des Betriebsführungssystems in Dokument [1.1.2] ist nicht korrekt und wird bei der nächsten Überarbeitung des Dokuments korrigiert. (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.2).

5.3.2 Qualitätsmanagement

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der ENERCON E-115 EP3 E3 zu vermeiden. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) und einen Sicherheitsplan. Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler wurden berücksichtigt.

5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

- Schutz vor Überdrehzahl / aerodynamische Bremse,
- Not Stop,
- Kabelverdrillung,
- Übermäßige Vibration/ Erschütterung,

wurde eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt. Die erforderlichen Performance Level für jede Schutzfunktion wurden in der Risikobewertung festgelegt. Der Nachweis aller Performance Level wurde auf der Basis von [1.1.6] erreicht. Die Schutzfunktionen erfüllen die Anforderungen der EN ISO 13849-1.

Nach einer Betriebszeit von 20 Jahren müssen die elektrischen Komponenten des Sicherheitssystems für die verbleibende Lebensdauer der WEA (bis zu 25 Jahre) ertüchtigt werden. Die Komponenten müssen entweder ausgetauscht oder einer Prüfung unterzogen werden (siehe EN ISO 13849-1: 2015). Für den Austausch der elektrischen Komponenten der Sicherheitseinrichtungen dürfen nur neue oder gleichwertige (so gut wie neue) Teile verwendet werden.

5.3.4 Handbücher

Für die Tätigkeiten Transport, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung stehen Handbücher, Checklisten und Protokolle zur Verfügung. Sicherheitsanweisungen wurden für vorhersehbare Gefahren gegeben. Die entsprechenden Protokolle werden über das Technical Service Info-System (TSI-Datenbank) verwaltet, das die aktuellen Protokolle bereitstellt und die Einträge speichert.

Die Handbücher enthalten die erforderlichen Informationen in geeigneter Weise, mit Ausnahme der folgenden Punkte:

- Das Handbuch zur Turmmontage [1.1.10] enthält noch nicht die E-115 EP3 E3 und nicht alle Nabenhöhen (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.1). Mit Dokument [1.2.7] erklärt ENERCON die Gültigkeit des Handbuchs auch für die E-115 EP3 E3 mit Stahlurm 67m, 87m und 92m. Weiterhin erklärt ENERCON mit Dokument [1.2.10] die Gültigkeit für die HST 122 m und 149 m.

5.4 Schnittstellen

Die lastrelevanten Parameter, wie z.B. Rotordrehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeitsgrenzen, Bremsprogramme sowie Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen für die Lastberechnungen überprüft.

Der Ausschluss des Lastfalls 2.1 (Überdrehzahl n_4) wurde anhand einer Analyse der auftretenden Häufigkeit bewertet [1.2.8]. Das Ereignis wurde als „abnormal“ bewertet, da die Ausfallrate weniger als einmal in der Lebensdauer (25 Jahre) beträgt. Der Lastfall 2.2 (Überdrehzahl n_A) ist aufgrund des gleichen Sicherheitsfaktors und der höheren Schwelle für Überdrehzahl abdeckend.

6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 Das Handbuch für die Turmmontage ist mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Turmvarianten zu ergänzen und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung einzureichen.

- 6.2 Jede Windenergieanlage dieses Typs muss mindestens entsprechend den Inbetriebnahmeanleitungen getestet werden. Der ordnungsgemäße Zustand ist vom Hersteller zu bestätigen. Der Inbetriebnahmebericht ist dem Betreiber jeweils zusammen mit den Handbüchern und Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen zu übergeben. Die Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen sind zu befolgen und die durchgeführten Arbeiten in den entsprechenden Berichten zu protokollieren.
- 6.3 Alle sicherheitsrelevanten Bauteile und Funktionen sind in Abständen von höchstens zwei Jahren durch einen anerkannten Sachverständigen zu prüfen. Dieses Prüfintervall kann auf vier Jahre verlängert werden, wenn durch von ENERCON autorisierte Sachkundige eine laufende (mind. jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird. Das Ergebnis der wiederkehrenden Prüfung ist in einem Bericht festzuhalten, der mindestens die folgenden Informationen enthalten muss:
- Prüfender Sachverständiger und Anwesende bei der Prüfung
 - Hersteller, Typ und Seriennummer der WEA und deren Hauptbestandteile (Rotorblätter, Getriebe, Generator, Turm)
 - Standort und Betreiber der WEA
 - Gesamtbetriebsstunden
 - Windgeschwindigkeit und Temperatur am Tag der Prüfung
 - Beschreibung des Prüfumfanges
 - Prüfergebnis und ggf. Auflagen

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

7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die ENERCON E-115 EP3 E3 Windenergieanlage in einem sicheren Zustand zu halten.

Das fehlersichere Verhalten der Windenergieanlagen wurde in Form einer FMEA dargelegt. Die nach EN ISO 13849-1 erforderlichen Performance Level wurden für alle Sicherheitsfunktionen erreicht.

Die Anforderungen der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen (Ausgabe 2012) und der DIN EN 61400-1:2005 an das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie die Handbücher der in Tabelle 4.1 spezifizierten Windenergieanlage werden erfüllt.

Die Auflagen und Hinweise in Kap. 6 sind zu berücksichtigen.

erstellt:

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

Dipl.-Ing. O. Raupach

freigegeben:

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

Dipl.-Ing. L. Klüppel

An der Prüfung beteiligt:

Dipl.-Ing. G. Ewald

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03,
verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II

- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D III Rev.2

Gegenstand der Prüfung: Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3, Rotorblatt E-115 EP3-RB-03, verschiedene Nabenhöhen bezüglich der DIBt 2012

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	19.11.2019	Erste Fassung	Konstantin Konkel
1	13.01.2020	Information zu Rotordurchmesser inkl. Vorbiegung und Konuswinkel hinzugefügt und dazugehörige Dokumente aktualisiert und Angabe zu v_{ave} hinzugefügt.	Konstantin Konkel
2	20.07.2020	Zertifizierungslastberichte [1.1.1] und [1.1.2] aktualisiert sowie weitere Anlagenkonfigurationen hinzugefügt.	Gunnar Ewald

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

[1.1.1] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht Maschinenbaulasten,
„Lastenbericht Maschinenbau E-115 EP3 E3 Abdeckende Betriebs- und
Extremlasten für den Maschinenbau E-115 EP3 E3 mit dem Rotorblatt
E-115 EP3-RB-03 nach DIBt und IEC“
Dokument-Nr.: D0942936-0a
Rev. 0a, Datum: 29.06.2020

[1.1.2] ENERCON GmbH:
Zertifizierungslastbericht mit Blattlastbeschreibung,
„Lastenbericht Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 Abdeckende Lasten für das
Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 mit dem Maschinenbau E-115 EP3 E3 nach
DIBt und IEC“
Dokument-Nr.: D0942935-0a
Rev. 0a, Datum: 29.06.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

[1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis,
„Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3“
Dokument-Nr: D0832892-1
Rev. 1, Datum: 04.11.2019

Begleitende Dokumentation zur Lastsimulation

[1.2.2] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01,
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3 RB E-115
EP3-RB-03, NH 92 m (E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01) DIBt WZ 4, GK I&II
- Lastannahmen Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D I
Rev. 1, Datum: 07.01.2020

[1.2.3] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01,
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3 RB E-115
EP3-RB-03, NH 135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA) DIBt WZ 3, GK I&II
- Lastannahmen Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D II
Rev. 2, Datum: 03.07.2020

- [1.2.4] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01,
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3 RB E-115
EP3-RB-03, NH 122 m (E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01) DIBt WZ 3, GK I&II
- Lastannahmen Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D V
Rev. 0, Datum: 09.07.2020
- [1.2.5] TÜV NORD:
Gutachtliche Stellungnahme Turmlasten E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01,
„Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3 RB E-115
EP3-RB-03, NH 149 m (E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01) DIBt WZ S, GK I&II
- Lastannahmen Turm und Fundament -“
TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-1 D VI
Rev. 0, Datum: 30.06.2020
- [1.2.6] ENERCON GmbH:
Stellungnahme für die Rotor-Drehzahlen E115 EP3 E3,
„Stellungnahme Lastensimulation Drehzahlbereiche“
Dokument-Nr: D0884211-0
Rev. 0, Datum: 18.10.2019

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt: Richtlinie für Windenergieanlagen
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 1991-1-4/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter –
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen –
Windlasten: 2010-12
- [2.3] DIN EN 61400-1
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen
(IEC 61400-1, Ausgabe 2005 + Amendment 1, Ausgabe 2010)
Ausgabe August 2011

3 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Prüfung der typenspezifischen Lastberechnung für Maschinenbau- und Rotorblattlasten, sowie Lasten von Rotorblatt-Anbauteilen, der Windenergieanlage (WEA) E-115 EP3 E3, welche im folgenden Kapitel und den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.5] genauer beschrieben sind. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] beinhalten hierbei die Lasten verschiedener Nabenhöhen. Eine genaue Beschreibung der jeweiligen WEA inkl. Turm und Fundament ist in den Gutachtlichen Stellungnahmen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.5] zu entnehmen. Die diesem Bericht zugrundeliegenden Nabenhöhen basieren teilweise auf unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und Anlagenparametern. Die entsprechenden Werte sind hierfür jeweils den Gutachtlichen Stellungnahmen [1.2.2] - [1.2.5] zu entnehmen.

In Revision 2 dieser Gutachtlichen Stellungnahme wurden die:

- E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01, [1.2.4] und
- E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01, [1.2.5]

Anlagenkonfigurationen hinzugefügt.

Die Berechnung der Lasten wurde anhand der DIBt [2.1] in Kombination mit der IEC 61400-1 Ed.3 [2.3] durchgeführt.

Die betrachteten Anlagenkonfigurationen E-115 EP3 E3 mit dem RB E-115 EP3-RB-03 ist ausgestattet mit:

- Rotorblattspitzen (Blade Tips)
- Vortexgeneratoren (Vortex Generators)
- Hinterkantenkämme (Trailing Edge Serrations)
- Blattheizung (Anti Icing System)

Die Randbedingungen der Lastberechnungen umfassen folgende klimatische Verhältnisse, die in Kapitel 4.1 näher beschrieben werden:

- Normaltemperaturbereich (NCV) gemäß [2.3].

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

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

- Geringere Leistung.
- Geringere Solldrehzahl bei geringerem oder gleichem Drehmoment, wenn die aus der Solldrehzahl berechnete Blattdurchgangsfrequenz oberhalb der 1. Turmeigenfrequenz liegt und keine Resonanzbereiche stimuliert werden.
- Änderungen an Turm- und Gondelmassen, Änderungen der Turmkonstruktion (z.B. Variation der Wanddicken, Bodendrehfeder, horizontale Wegfeder, E-Modul) sowie Abweichungen der Turmhöhe, sofern sämtliche folgende Bedingungen eingehalten werden:
 - Abweichung der Anlagenmasse um bis zu $\pm 5\%$
 - Abweichung der Turmhöhe um bis zu $\pm 5\%$
 - Die erste Turmeigenfrequenz im Ausgangszustand und die erste Turmeigenfrequenz im modifizierten Zustand liegen oberhalb 105% der 1P Anregung bei Solldrehzahl.
 - Alle weiteren Turmeigenfrequenzen im Ausgangszustand und im modifizierten Zustand liegen außerhalb des Intervalls [90% - 105%] der 3P Anregung der Solldrehzahl
 - Abweichung der 1. Turmeigenfrequenz sind unter folgenden Bedingungen zulässig:
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Weich“¹ (linksseitiger Eintritt ins 3P-Sensitivitätsband) darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ (rechtsseitiger Austritt aus 3P-Sensitivitätsband) anheben, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Starr“¹ um nicht mehr als 5% erhöht. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.
 - Die erste Turmeigenfrequenz „Starr“¹ darf sich bis auf den Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ absenken, wenn sich dabei gleichzeitig der Wert der ersten Turmeigenfrequenz „Weich“¹ um nicht mehr als 5% absenkt. Die 2. Turmeigenfrequenz darf eine höhere Abweichung aufweisen.

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

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Umgebungsbedingungen

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

	DIBt WZ 4 GK I&II für [1.2.2] WZ 3 GK I&II für [1.2.3] WZ S GK I&II für [1.2.4] WZ S GK I&II für [1.2.5]	IEC IA für [1.2.2] IIA für [1.2.3] S für [1.2.4] S für [1.2.5]
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit V_{ave}	8.12 m/s für [1.2.2] 7.80 m/s für [1.2.3] 7.80 m/s für [1.2.4] 7.90 m/s für [1.2.5]	10.0 m/s für [1.2.2] 8.50 m/s für [1.2.3] 7.80 m/s für [1.2.4] 7.90 m/s für [1.2.5]
Formparameter der Weibull-Funktion k	2	2
Extreme 1-Jahres-Windgeschwindigkeit V_1 (10 Minuten Mittelwert)	36.10 m/s für [1.2.2] 34.67 m/s für [1.2.3] 34.22 m/s für [1.2.4] 35.08 m/s für [1.2.5]	40.00 m/s für [1.2.2] 34.00 m/s für [1.2.3] 34.00 m/s für [1.2.4] 34.00 m/s für [1.2.5]
Extreme 50-Jahres-Windgeschwindigkeit V_{50} (10 Minuten Mittelwert)	45.13 m/s für [1.2.2] 43.33 m/s für [1.2.3] 42.77 m/s für [1.2.4] 43.84 m/s für [1.2.5]	50.00 m/s für [1.2.2] 42.50 m/s für [1.2.3] 42.50 m/s für [1.2.4] 42.50 m/s für [1.2.5]
Erwartungswert der longitudinalen Turbulenzintensität bei 15 m/s I_{ref}	16 %	16 %
Angenommener c-Faktor zur Bestimmung des extremen Turbulenzmodells (ETM)	2 m/s	2 m/s
Höhenexponent α (für EWM)	0.2 (0.121)	0.2 (0.11)
Zusätzlich berücksichtigter Höhenexponent α für die Lastfälle DLC1.1, DLC1.3 und DLC1.5	0.0 & 0.3 für [1.2.2] - [1.2.5]	0.0 & 0.3 für [1.2.2] - [1.2.5]
Upflow	8°	8°

Tabelle 4.1: Windbedingungen auf Nabenhöhe

Für die Erstellung der Betriebslasten ist die jeweils höhere mittlere Jahreswindgeschwindigkeit aus DIBt [2.1] und IEC [2.3] zugrunde gelegt.

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

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

Tabelle 4.2: Bedingungen an die Luftdichte

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

Temperaturbereich im Produktionsbetrieb	-40° C bis +40° C
Extremer Temperaturbereich	-40° C bis +50° C
Netzausfälle	20 Ausfälle / Jahr
Betrieb mit vereisten Blättern	nicht berücksichtigt
Auslegungsliebendauer	25 Jahre

Tabelle 4.3: Klimatische und weitere Umgebungsbedingungen

Alle weiteren Umgebungsbedingungen werden mit den in [2.1] bzw. [2.3] angegebenen Standardwerten angenommen.

4.2 Sicherheitsklasse

Die WEA ist entsprechend der in [2.3] definierten Normal-Sicherheitsklasse ausgelegt.

4.3 Beschreibung des Anlagenmodells

Bei der WEA E-115 EP3 E3 handelt es sich um eine WEA mit aktiver Windrichtungsnachführung und einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor. Die Rotordrehzahl ist variabel. Die Leistungsbegrenzung erfolgt durch Blattwinkelverstellung aller drei Rotorblätter.

Die technischen Hauptdaten der Anlage, auf denen das in Kapitel 5 beschriebene Berechnungsmodell basiert, sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Elektrische Nennleistung	4200 kW
Turmtyp	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turmhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Nabenhöhe	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Rotorblatt	E-115 EP3-RB-03
Rotorblattlänge (inkl. Blattadapter, entlang der Pitch-Achse)	56.5951 m
Rotorblattmasse (inkl. Blattadapter)	16526 kg
Massenmoment des Rotorblatts (gemessen vom Blattadapteranschluss)	270040 kgm
Nominaler Rotordurchmesser	116.028 m
Rotordurchmesser (inkl. Vorbiegung und Konuswinkel)	115.710 m
Rotorachsneigung	7°
Rotor-Konuswinkel	-2.5°
Rotornendrehzahl n_r	12.9 U/min
Rotorsolldrehzahl n_s^2	13.2 U/min

² Drehzahl auf die im Vollastbetrieb der Windenergieanlage geregelt wird

Rotordrehzahl im Produktionsbetrieb $n_1 - n_3$	6 – 14.85 U/min für [1.2.2] - [1.2.3] 4.4 – 14.85 U/min für [1.2.4] - [1.2.5]
Getriebeübersetzung	direktgetrieben
Netzfrequenz	irrelevant
Windgeschwindigkeitsbereich im Produktionsbetrieb $V_{in} - V_{out}^3$	2.5 – 34 m/s
Nennwindgeschwindigkeit v_r	13.2 m/s

Tabelle 4.4: Technische Hauptdaten der WEA E-115 EP3 E3, Windgeschwindigkeiten bezogen auf Nabhöhe

	Dateiname	
Rotorblattstruktur	siehe [1.2.2] - [1.2.5]	
Aerodynamische Profile	Profilname	Dicken-Chordlängen-Verhältnis [%]
	Cylinder	100%
	EC145F_microVGSS020_RUN8290_opt	45%
	EC135F_microVGSS020_RUN8224_opt	35%
	EC135F-WoRWiT-	35%
	EC128-WoRWiT-	28%
	EC122-WoRWiT-	22%
	EC116-WoRWiT-	16%
Turmstruktur	siehe [1.2.2] - [1.2.5]	
Controller	siehe [1.2.2] - [1.2.5]	

Tabelle 4.5: Relevante Eingabedaten des Lastrechnungsmodells

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

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

Tabelle 4.6: Angenommene Asymmetrien

Durch Eisansatz verursachte Massenzunahmen an den Rotorblättern wurden nicht berücksichtigt.

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

³ Start der Sturmregelung bei 25 m/s

Translationsfeder: $k_{x,dyn}$	starr
Horizontale Drehfeder: $k_{\varphi,dyn}$	siehe [1.2.2] - [1.2.5]

Tabelle 4.7: Angenommene elastische Einspannung des Turmfußes und des Fundaments

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

Komponente		Randbedingungen	Frequenz
Blatt, Biegung flapwise	1. EF	fest eingespannt - frei	0.693 Hz
Blatt, Biegung flapwise	2. EF	fest eingespannt - frei	1.709 Hz
Blatt, Biegung edgewise	1. EF	fest eingespannt - frei	1.078 Hz
Blatt, Biegung edgewise	2. EF	fest eingespannt - frei	3.360 Hz
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	1. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	2. EF	flexibel - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung fore-aft	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung fore-aft	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	1. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]
Turm, Biegung side-side	2. EF	fest eingespannt - frei, inkl. Turmkopfmasse	siehe [1.2.2] - [1.2.5]

Tabelle 4.8: Komponenten-Eigenfrequenzen der WEA E-115 EP3 E3, E-115 EP3-RB-03, verschiedene NH

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethode

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

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

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

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

5.2 Anmerkungen

- 5.2.1. Im Fall von signifikanten, lastrelevanten Änderungen der zur Lastrechnung verwendeten Eingangsparameter wie z.B. strukturelle Modelldaten, Annahmen bzgl. der Aerodynamik, Reglerparameter, kann eine Neuberechnung der Lasten erforderlich sein.
- 5.2.2. Zusätzlich zu der durch unabhängige Nachrechnung geprüften Anlage, schließt diese Gutachtliche Stellungnahme auch Änderungen an der Anlage mit ein, die den Bedingungen aus Kapitel 3 entsprechen.
- 5.2.3. Lasten während des Transports oder der Montage wurden nicht berücksichtigt.

5.3 Prüfergebnis

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

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

5.4 Schnittstellen

- 5.4.1. Relevante Parameter und Schnittstellenwerte, die über die in Kapitel 4 aufgeführten hinausgehen, sind den Dokumenten [1.1.1] - [1.2.5] zu entnehmen.
- 5.4.2. Die Lasten sind in den in [1.1.1] - [1.1.2] beschriebenen Berechnungskoordina-
tensystemen ausgewertet worden.
- 5.4.3. Lastrelevante Einflüsse aus Erdbeben wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.4. Lastrelevante Einflüsse aus Eis am Rotorblatt wurden nicht berücksichtigt.
- 5.4.5. Eine Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte wurde nicht in der
Lastberechnung berücksichtigt.
- 5.4.6. Diese Prüfung beinhaltet keine Überprüfung des Turmfreigangs nach [2.1]. Dies
erfolgte bereits in den Prüfungen der Turmlasten [1.2.2] - [1.2.5].
- 5.4.7. Die Gierbewegung der Anlage wurde in der Lastsimulation nicht berücksichtigt.
- 5.4.8. Die Lasten am Turm beinhalten die Einflüsse aus den vorhandenen Massen-
exzentrizitäten und den Verformungen des Turms (Effekte aus Theorie 2.
Ordnung). Die Einflüsse aus Schiefstellung des Turmes, Setzungen sowie aus
einer statischen Drehfeder wurden nicht berücksichtigt.

- 5.4.9. Die geprüften Unterlagen [1.1.1] - [1.1.2] wurden mit Prüfvermerk und Datumskennzeichnung versehen.
- 5.4.10. Die Betriebslasten aus [1.1.1] berücksichtigen keine Lasten für weniger als 1000 akkumulierte Zyklen.

6 Auflagen

- 6.1 Beim Verlassen der Anlage darf diese nicht mit einem arretierten Rotor und gleichzeitig deaktivierter Windnachführung zurückgelassen werden.
- 6.2 Die Anlage ist mit einem Eiserkennungssystem auszustatten, das einen Betrieb mit vereisten Rotorblättern ausschließt.
- 6.3 Bei Abweichungen von mehr als $\pm 5\%$ von der 1. Turmeigenfrequenz des in der Lastberechnung verwendeten Modells sind zusätzliche Untersuchungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Turmeigenfrequenzen erforderlich.

7 Schlussfolgerung

Die in [1.1.1] - [1.1.2] aufgeführten Lastannahmen für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3, E-115 EP3-RB-03 sind unter Berücksichtigung der Auflagen in Punkt 6 konform zu den Richtlinien [2.1] - [2.3] berechnet worden.

Sachverständiger:



Dipl.-Ing. (FH) Gunnar Ewald

Freigegeben:



Dr. rer. nat. Julia Hinkel

Gutachtliche Stellungnahme

Windenergieanlage ENERCON E-115 EP3 E3
nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

- Sicherheitssystem und Handbücher-

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8116 503 696-2 D Rev. 3

Prüfgegenstand: Konzeptprüfung des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher für die ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 nach DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen (2012)

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

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

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	05.12.2019	Erstausgabe	O. Raupach
1	12.05.2020	Aktualisierte Unterlagen	O. Raupach
2	12.08.2020	Ergänzung von Unterlagen (Derating Kurven)	O. Raupach
3	16.11.2020	Ergänzung HST 122 und HST 149, Revision von Unterlagen, Löschung einer Auflage, Hinzufügung eines Hinweises auf dem Deckblatt, redaktionelle Änderungen	O. Raupach

Inhalt

1	Eingereichte Unterlagen	3
1.1	Geprüfte Unterlagen	3
1.2	Zugehörige Unterlagen	5
2	Prüfgrundlagen	7
3	Einführung	7
4	Beschreibung der Windenergieanlage	7
4.1	Konfiguration	7
4.2	Temperaturvarianten	8
4.3	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	8
4.4	Mechanische Bremse	9
5	Durchgeführte Prüfung	9
5.1	Prüfmethodik	9
5.2	Anmerkungen	10
5.3	Prüfergebnisse	10
5.3.1	Betriebsführungs- und Sicherheitssystem	10
5.3.2	Qualitätsmanagement	10
5.3.3	Performance Level	10
5.3.4	Handbücher	11
5.4	Schnittstellen	11
6	Auflagen und Hinweise	11
7	Schlussfolgerung	12

1 Eingereichte Unterlagen

1.1 Geprüfte Unterlagen

- [1.1.1] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Elektrisches Blattverstellungssystem E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2
Dokument-ID: D0854579-0
Rev. 0, Datum 29.08.2019

- [1.1.2] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Fehlermodes Control System E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0871363-1
Rev. 1, Datum 16.03.2020

- [1.1.3] ENERCON GmbH
Risikobeurteilung E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D074913-4 Risikobeurteilung E-115 EP3 E3.xlsx
Rev. 4, Datum 04.11.2019

- [1.1.4] ENERCON GmbH
E-115 EP3 E3 System Requirement Specification - Scoping
Dokument-ID: D0754731-2
Rev. 2, Datum 22.08.2019

- [1.1.5] ENERCON GmbH
Safety Concept /Safety Requirement Specification
E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0830549-0a / DB
Rev. 0a, Datum 02.08.2019

- [1.1.6] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung
Bestimmung der Performance Level EP-SCS-02
Dokument-ID: D0757007-0
Rev. 0, Datum 17.05.2019

- [1.1.7] ENERCON GmbH
System FMEA E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0889800-0
Workshop 19, Datum 04.11.2019

- [1.1.8] ENERCON GmbH
Parameterliste
Safety System E-138 EP3 E2, E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0889041-2
Rev. 2, Datum 15.11.2019

- [1.1.9] ENERCON GmbH
Betriebsanleitung
Beschreibung und Bedienung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0876392-1
Rev. 1, Datum 14.10.2020

- [1.1.10] ENERCON GmbH
Aufbauanleitung
Montage Stahlurm, Stahlsektion FBT und E-Modul
Dokument-ID: TD-esc-08-de-de-16-015 Rev003b
Rev. 3b, Datum 15.04.2019

- [1.1.11] ENERCON GmbH
Aufbauanleitung Generelle Aufbauanleitung Hybridurm (HT)
Dokument-ID: TD-esc-08-de-de-15-001 Rev013
Rev. 13, Datum 18.04.2019

- [1.1.12] ENERCON GmbH
Montageanleitung
Vormontage und Montage Gondel
Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: TD-esc-08-de-de-19-051 Rev000
Rev. 0, Datum 30.08.2019

- [1.1.13] ENERCON GmbH
Arbeitsanleitung
Mechanische Inbetriebnahme und 300 h-Wartung
Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0859071-0
Rev. 0, Datum 26.08.2019

- [1.1.14] ENERCON GmbH
Wartungsanleitung
Hauptwartung Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0948248-1
Rev. 1, Datum 30.04.2020

- [1.1.15] ENERCON GmbH
Inbetriebnahmeanleitung (elektrisch)
Inbetriebnahme ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0858931-Rev000
Rev. 0, Datum 15.08.2019
- [1.1.16] ENERCON GmbH
Verladehandbuch
E-115 E3/E-126/E-138 E1E2 EP3
Dokument-ID: PLM-TES-DC032-VH_E-115E3_E-126_E-138E1E2_EP3-
Rev001de-de
Rev. 1, Datum 25.10.2019
- [1.1.17] ENERCON GmbH
Prototypentestplan
E-138 EP3 E2 und E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0838022-0
Rev. 0, Datum 04.11.2019
- [1.1.18] ENERCON GmbH
Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzvorschriften, WEA Service
Dokument-ID: BA_bl_1001-1_Gesundheits-, Arbeits- und
Umweltschutzvorschriften_WEA-Service_Rev001_de-de
Rev. 1, Datum 12.12.2019
- [1.1.19] ENERCON GmbH
Stellungnahme des Betriebs in Abhängigkeit der Außentemperatur für NC u. CC
Dokument-ID.: D0942308-0 / DZ
Rev. 0, Datum 25.03.2020
- [1.1.20] ENERCON GmbH
Technische Beschreibung Derating-Kurven E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0982561-0 / DB
Rev. 0, Datum 13.07.2020
- [1.1.21] ENERCON GmbH
Verladehandbuch Stahltürme (ST/MST/HST)
Dokument-ID: PLM-TES-DC026-VH_Stahltürme_ST_MST_HST-Rev002de-de
Rev. 2, Datum 12.09.2020

1.2 Zugehörige Unterlagen

- [1.2.1] ENERCON GmbH
Design Basis documentation
Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0832892-1
Rev. 1, Datum 04.11.2019

- [1.2.2] ENERCON GmbH
Design Basis
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen”
Document-ID: D0666243-3
Rev. 3, Datum 30.07.2018

- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Safety Plan / Sicherheitsplan
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0815639-2
Rev. 2, Datum 18.10.2019

- [1.2.4] ENERCON GmbH
Enersafe Report
Dokument-ID.: Enersafe_Report_2019_08_09.pdf
Rev. 0, Datum 09.08.2019

- [1.2.5] ENERCON GmbH
V&V-Plan
Windenergieanlage E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D0870816-1 / DZ
Rev. 1, Datum 14.01.2020

- [1.2.6] ENERCON GmbH
WEA Systementwurf E-115 EP3 E3
Dokument-ID: D087688172-2 / DB
Rev. 2, Datum 30.04.2020

- [1.2.7] ENERCON GmbH
Stellungnahme Errichtungshandbücher
Dokument-ID: D0828100-1 / DZ
Rev. 1, Datum 06.11.2019

- [1.2.8] ENERCON GmbH
Überdrehzahlabschaltungen
Dokument-ID: D0714684-0
Eingereicht: 15.06.2018

- [1.2.9] ENERCON GmbH
Erkennung von nicht durchgeführter Azimutverstellung
Dokument-ID: D0801103-0 / DD
Eingereicht: 06.03.2019

- [1.2.10] ENERCON GmbH
Stellungnahme Anleitung HST-Türme
Dokument-ID: D02162828/1.0-de / DD
Datum 12.11.2020

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Fassung Oktober 2012
- [2.2] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, 2005-08
- [2.3] International Standard IEC 61400-1:
"Wind turbines - Part 1: Design requirements", 3rd edition, Amendment 1, 2010-10

3 Einführung

Die Prüfung umfasst die eingereichten Unterlagen [1.1.1] – [1.1.17] und wurde auf Grundlage der in [2] genannten Richtlinien hinsichtlich des Konzepts des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie der Handbücher durchgeführt. Die Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Konfiguration

Die ENERCON E-115 EP3 E3 ist eine dreiblättrige Luvläufer-Windenergieanlage mit einer maximalen Nennleistung von 4200 kW. Die Windenergieanlagen arbeiten nach dem Prinzip variabler Leistung durch Einzelblattverstellung. Das Hauptbremssystem der ENERCON E-115 EP3 E3 Windenergieanlage ist die aerodynamische Bremse durch die axiale Drehung der Rotorblätter, die in einem Bereich zwischen 0° und 92° bewegt werden können.

Die Prüfung umfasst die folgenden Konfigurationen:

Typ	E-115 EP3 E3
Windklasse	IEC IIIA / DIBt WZ 2 GK2 / WZ S GK2
Nennleistung (max.)	4200 kW
Rotorblatt (Durchmesser)	E-115 EP3-RB-03 (115.71m)
Turm (Nabenhöhe)	ST (67 m, 87 m, 92 m) HT (135 m) HST (122 m, 149 m)
Nennzahl	12.9 min ⁻¹
Drehzahlgrenze Betriebsführung	15.2 min ⁻¹

Drehzahlgrenze Sicherheitssystem	16.5 min ⁻¹
Einschaltwindgeschwindigkeit	2.5 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	34 m/s (Beginn der Sturmregelung bei 25 m/s)
Safety Controller / Hersteller	EP-SCS-02 / Bachmann MX220/CF
Controller Softwareversion	EP3-CS-02
Sicherheitssystemversion	V1.08 (checksum A: 0xA1F3812F B: 0xA66DBB79)
Netzfrequenz	50/60Hz
Design-Lebensdauer	25 Jahre
Pitchsystem	elektrische Antriebe (DC) für jedes der drei Rotorblätter, Kondensatoren für die Notstromversorgung

4.1: Konfiguration

4.2 Temperaturvarianten

Die Windenergieanlage E-115 EP3 E3 wurde für den unbegrenzten Betrieb in mitteleuropäischem Klima entwickelt, d. H. für einen Temperaturbereich von -15°C bis mindestens +25°C (Standard-Paket). Bei höheren Umgebungstemperaturen und gleichzeitig starkem Wind kann das Betriebsführungssystem die Windenergieanlage, abhängig von den aktuellen Standortbedingungen, mit reduzierter Leistung betreiben (s.[1.1.20]).

Im Temperaturbereich von -15°C bis -25°C wird die Leistung der Windenergieanlage von der Steuerung linear auf bis zu 25% der Nennleistung reduziert. Wenn die Temperatur unter -25°C fällt, stoppt die Windenergieanlage.

Für Standorte mit kaltem Klima (Cold-Climate-Paket) reicht der unbegrenzte Betriebsbereich von -30°C bis +25°C. Unterhalb dieser Temperatur wird die Leistung linear auf 25% reduziert, bis eine Temperatur von -40°C erreicht ist. Ab dieser Temperatur wird der Betrieb gestoppt. Ein Neustart ist ab einer Temperatur von -35°C wieder möglich.

Bei Überschreitung der Beschleunigungsgrenzen, die durch einen vereisten Rotor mit Unwucht verursacht werden, wird die Windenergieanlage abgeschaltet. Darüber hinaus ist die E-115 EP3 E3 mit einem Eiserkennungssystem ausgestattet.

4.3 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Das Sicherheitssystem ist unabhängig vom Betriebsführungssystem und diesem logisch übergeordnet. Das Sicherheitssystem löst bei Überschreitung von kritischen Grenzwerten eine Notbremsung aus. Die Überwachung durch das Sicherheitssystem umfasst u.a. die folgenden Funktionen:

- Not-Halt-Taster

- Rotordrehzahl
- Gondelschwingung
- Überwachung des Kontrollsystems
- Überwachung der Kabelverdrillung

Nach Auslösen des Sicherheitssystems ist ein automatischer Neustart der Anlage nicht möglich.

Der Ausfall von einer der drei Blattverstellungen führt nicht zu einem unsicheren Zustand, sondern löst sofort eine Abschaltung der Windenergieanlage aus (2oo3 Redundanz).

Die Azimutantriebe werden bei Betätigung des Not-Halt-Tasters in der Gondel oder einem Fehler im Azimutsystem ausgeschaltet. Im Wartungsmodus sind die Azimutantriebe ebenfalls deaktiviert.

Detaillierte Informationen sind in [1.1.2], [1.1.5] und [1.2.4] enthalten.

4.4 Mechanische Bremse

Die mechanische / hydraulische Scheibenbremse sorgt für einen vollständigen Stillstand des Rotors bei Betätigung des Not-Halt-Tasters in der Gondel sowie im manuellen Servicebetrieb. Sie dient nicht als Betriebsbremse, sondern zum provisorischen Festhalten des bereits angehaltenen Rotors, um diesen zu arretieren.

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethodik

Die Bewertung erfolgte durch Überprüfung der zugehörigen Dokumentation in Bezug auf die Anforderungen in den angewandten Standards [2].

Das Design der unabhängigen Bremssysteme sowie die unabhängige und übergeordnete Funktion des Sicherheitssystems wurde überprüft.

Mit Hilfe der Fehleranalyse [1.1.7] wurde das Sicherheitssystem auf seine Fähigkeit, die Windenergieanlage bei Ausfall der Steuerung in einem sicheren Zustand zu halten überprüft. Mit [1.1.6] wurden die Performance Level der Schutzfunktionen gemäß den Anforderungen der EN ISO 13849-1 überprüft.

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

Es wurde überprüft, ob die in [2.1] bzw. [2.2] geforderten Informationen in den jeweiligen Handbüchern enthalten sind.

Die Überprüfung aller angegebenen Parameter und Software-Validierung sowie eine vollständige Überprüfung aller Spezifikationen, z.B, Schraubenmomente, Schmierstoffe, Gewichte und Abmessungen, elektrische Eigenschaften etc. sind nicht Bestandteil dieses Prüfberichts.

5.2 Anmerkungen

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

5.3 Prüfergebnisse

5.3.1 Betriebsführungs- und Sicherheitssystem

Das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems ist geeignet, den sicheren Betrieb der ENERCON E-115 EP3 E3 Windenergieanlage zu gewährleisten. Der sichere Zustand der Windenergieanlage ist in jedem Modus durch redundante und unabhängige Bremssysteme gewährleistet.

Die Beschreibung (das Blockschaltbild) des automatischen Wiederauffahrens nach Fehlern des Betriebsführungssystems in Dokument [1.1.2] ist nicht korrekt und wird bei der nächsten Überarbeitung des Dokuments korrigiert. (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.2).

5.3.2 Qualitätsmanagement

Der Qualitätssicherungsprozess enthält ausreichende Maßnahmen, um das Risiko von Fehlfunktionen im Design der ENERCON E-115 EP3 E3 zu vermeiden. Der Prozess beinhaltet eine systematische Risikobewertung mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) und einen Sicherheitsplan. Spezifische Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler wurden berücksichtigt.

5.3.3 Performance Level

Für die sicherheitskritischen Schutzfunktionen

- Schutz vor Überdrehzahl / aerodynamische Bremse,
- Not Stop,
- Kabelverdrillung,
- Übermäßige Vibration/ Erschütterung,

wurde eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt. Die erforderlichen Performance Level für jede Schutzfunktion wurden in der Risikobewertung festgelegt. Der Nachweis aller Performance Level wurde auf der Basis von [1.1.6] erreicht. Die Schutzfunktionen erfüllen die Anforderungen der EN ISO 13849-1.

Nach einer Betriebszeit von 20 Jahren müssen die elektrischen Komponenten des Sicherheitssystems für die verbleibende Lebensdauer der WEA (bis zu 25 Jahre) ertüchtigt werden. Die Komponenten müssen entweder ausgetauscht oder einer Prüfung unterzogen werden (siehe EN ISO 13849-1: 2015). Für den Austausch der elektrischen Komponenten der Sicherheitseinrichtungen dürfen nur neue oder gleichwertige (so gut wie neue) Teile verwendet werden.

5.3.4 Handbücher

Für die Tätigkeiten Transport, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung stehen Handbücher, Checklisten und Protokolle zur Verfügung. Sicherheitsanweisungen wurden für vorhersehbare Gefahren gegeben. Die entsprechenden Protokolle werden über das Technical Service Info-System (TSI-Datenbank) verwaltet, das die aktuellen Protokolle bereitstellt und die Einträge speichert.

Die Handbücher enthalten die erforderlichen Informationen in geeigneter Weise, mit Ausnahme der folgenden Punkte:

- Das Handbuch zur Turmmontage [1.1.10] enthält noch nicht die E-115 EP3 E3 und nicht alle Nabenhöhen (siehe Kap. 6 Auflagen und Hinweise, Nummer 6.1). Mit Dokument [1.2.7] erklärt ENERCON die Gültigkeit des Handbuchs auch für die E-115 EP3 E3 mit Stahlurm 67m, 87m und 92m. Weiterhin erklärt ENERCON mit Dokument [1.2.10] die Gültigkeit für die HST 122 m und 149 m.

5.4 Schnittstellen

Die lastrelevanten Parameter, wie z.B. Rotordrehzahlgrenzen, Windgeschwindigkeitsgrenzen, Bremsprogramme sowie Betriebs- und Wartungsbedingungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen für die Lastberechnungen überprüft.

Der Ausschluss des Lastfalls 2.1 (Überdrehzahl n_4) wurde anhand einer Analyse der auftretenden Häufigkeit bewertet [1.2.8]. Das Ereignis wurde als „abnormal“ bewertet, da die Ausfallrate weniger als einmal in der Lebensdauer (25 Jahre) beträgt. Der Lastfall 2.2 (Überdrehzahl n_A) ist aufgrund des gleichen Sicherheitsfaktors und der höheren Schwelle für Überdrehzahl abdeckend.

6 Auflagen und Hinweise

- 6.1 Das Handbuch für die Turmmontage ist mit den entsprechenden Angaben für die fehlenden Turmvarianten zu ergänzen und vor der Errichtung dieser Typen zur Bewertung einzureichen.

- 6.2 Jede Windenergieanlage dieses Typs muss mindestens entsprechend den Inbetriebnahmeanleitungen getestet werden. Der ordnungsgemäße Zustand ist vom Hersteller zu bestätigen. Der Inbetriebnahmebericht ist dem Betreiber jeweils zusammen mit den Handbüchern und Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen zu übergeben. Die Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen sind zu befolgen und die durchgeführten Arbeiten in den entsprechenden Berichten zu protokollieren.
- 6.3 Alle sicherheitsrelevanten Bauteile und Funktionen sind in Abständen von höchstens zwei Jahren durch einen anerkannten Sachverständigen zu prüfen. Dieses Prüfintervall kann auf vier Jahre verlängert werden, wenn durch von ENERCON autorisierte Sachkundige eine laufende (mind. jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird. Das Ergebnis der wiederkehrenden Prüfung ist in einem Bericht festzuhalten, der mindestens die folgenden Informationen enthalten muss:
- Prüfender Sachverständiger und Anwesende bei der Prüfung
 - Hersteller, Typ und Seriennummer der WEA und deren Hauptbestandteile (Rotorblätter, Getriebe, Generator, Turm)
 - Standort und Betreiber der WEA
 - Gesamtbetriebsstunden
 - Windgeschwindigkeit und Temperatur am Tag der Prüfung
 - Beschreibung des Prüfumfanges
 - Prüfergebnis und ggf. Auflagen

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

7 Schlussfolgerung

Der Aufbau des Betriebsführungs- und Sicherheitssystem mit den redundanten Schutzfunktionen ist geeignet, die ENERCON E-115 EP3 E3 Windenergieanlage in einem sicheren Zustand zu halten.

Das fehlersichere Verhalten der Windenergieanlagen wurde in Form einer FMEA dargelegt. Die nach EN ISO 13849-1 erforderlichen Performance Level wurden für alle Sicherheitsfunktionen erreicht.

Die Anforderungen der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen (Ausgabe 2012) und der DIN EN 61400-1:2005 an das Konzept des Betriebsführungs- und Sicherheitssystems sowie die Handbücher der in Tabelle 4.1 spezifizierten Windenergieanlage werden erfüllt.

Die Auflagen und Hinweise in Kap. 6 sind zu berücksichtigen.

erstellt:

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

Dipl.-Ing. O. Raupach

freigegeben:

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

Dipl.-Ing. L. Klüppel

An der Prüfung beteiligt:

Dipl.-Ing. G. Ewald

Gutachtliche Stellungnahme

ENERCON E-115 EP3 E3

– Elektrische Komponenten und Blitzschutz –

TÜV NORD Report Nr.:	8116503696-5 D Rev. 2
Prüfobjekt:	Elektrische Komponenten und Blitzschutz der Windenergieanlage ENERCON E-115 EP3 E3
Prüfumfang:	<ul style="list-style-type: none">- DIBt 2012- IEC 61400-1 ed. 3
Hersteller:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Deutschland

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 34 Seiten.

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

Revision	Datum	Änderungen	Experte
0	27.11.2019	Erste Fassung	H. Grafe
1	11.05.2020	Umrichtertestberichte hinzugefügt Technische Beschreibung Cold Climate aufgelistet Alternative Transformatoren aufgeführt Aktualisierte Konstruktionsbasis hinzugefügt EMV Dokumente aufgeführt Weitere Turmhöhe 149 m aufgelistet Angebot: 2020-0150	H. Grafe
2	19.02.2021	Berichtsnummer geändert von 8117142915-5 D auf 8116503696-5 D.	H. Grafe

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
2	Prüfgrundlagen	19
3	Einleitung	20
4	Beschreibung der Windenergieanlage	21
4.1	Beschreibung der WEA Konfigurationen	21
4.2	Klimatische Bedingungen	21
4.3	Eigenschaften Elektrische Komponenten	22
5	Durchgeführte Prüfungen	28
5.1	Prüfmethode	28
5.2	Anmerkungen	28
5.3	Prüfbemerkungen	29
5.3.1	Allgemeine Anforderungen an das elektrische System	29
5.3.2	Back-up Spannungsversorgungssystem	31
5.3.3	Elektrische Leiter	31
5.3.4	Schutz- und Trenneinrichtungen	31
5.3.5	Blitzschutz- und Erdungssystem	32
5.3.6	Selbsterregung	33
5.3.7	Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit	33
5.3.8	Kalt-Wetter-Ausführung	33
5.4	Schnittstellen	33
6	Auflagen	34
7	Schlussfolgerung	34

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

ENERCON E-115 EP3 E3

- [1.1.1] ENERCON
EG/EU-Konformitätserklärung
Dokumenten-Nr.: D0376121-12
Rev. Entwurf, Datum: 25.01.2019 (empfangen)

Generator

- [1.1.2] ENERCON
Kurzbeschreibung Generator E-115 EP3 E3-GE-01
Dokumenten-Nr.: D0882538-0a
Rev. 0a, Datum: 24.10.2019
- [1.1.3] ENERCON
Zeichnung Typenschild
Dokumenten-Nr.: D0882540-0
Rev. 0, Datum: 30.10.2019 (empfangen)
- [1.1.4] ENERCON
E-115 EP3 E3-GE-01 Thermisches Verhalten und Prüfung nach DIN 60034
Dokumenten-Nr.: D0882539-1
Rev. 1, Datum: 30.10.2019
- [1.1.5] ENERCON
Herstellereklärung, Drehzahlauslegung des Generator-Rotors vom Typ
E-115 EP3 E3-GE-01
Dokumenten-Nr.: D0882537-0
Rev. 0, Datum: 30.10.2019

Umrichter

- [1.1.6] ENERCON
Datenblatt PC B2B-Umrichter (Artikel-Nr. 676555)
Dokumenten-Nr.: D0835803-2
Rev. 2, Datum: 27.11.2019 (empfangen)
- [1.1.7] ENERCON
Technische Beschreibung Umrichter B2B V2 SAP 676555
Dokumenten-Nr.: D0849519-1
Rev. 0, Datum: 17.07.2019

- [1.1.8] ENERCON
Technische Information Kühlung Leistungsschrank B2B PC17034
Dokumenten-Nr.: D0852253-0
Rev. 0, Datum: 26.07.2019

- [1.1.9] ENERCON
Zeichnung Leistungsschrank B2B V2 VAR – Baugruppenübersicht
Dokumenten-Nr.: D0836954-0
Rev. 0, Datum: 05.07.2019

- [1.1.10] ENERCON
Schaltplan Leistungsschrank
Dokumenten-Nr.: D0876520-0b
Rev. 0b, Datum: 21.10.2019

- [1.1.11] ENERCON
Zeichnung Typenschild – B2B V2 STD
Dokumenten-Nr.: D0887687
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

- [1.1.12] ENERCON
Erklärung zur Überspannungskategorie III des B2B-Umrichters
Dokumenten-Nr.: D0883451-1
Rev. 0, Datum: 16.10.2019

- [1.1.13] ENERCON
Messbericht PC17034 Erwärmungslauf TRL6
Dokumenten-Nr.: D0817165-0
Rev. 0, Datum: 17.04.2019

- [1.1.14] ENERCON
Prüfprotokoll – Leistungsschrank B2B (Leistungstest)
Seriennummer: 15-10
Rev. 0, Datum: 26.07.2018

- [1.1.15] ENERCON
Versuchsprotokoll B2B Chopper eingebaut im Versuchsträger
Dokumenten-Nr.: D0435031xxxxx-0/DD
Rev. 0, Datum: 01.02.2016

- [1.1.16] ENERCON
Versuchsprotokoll Kurzschluss DC-seitig – Version Thyristor
Dokumenten-Nr.: D0435031xxxxx-0/DD
Rev. 0, Datum: 01.02.2016

- [1.1.17] ENERCON
Prüfbericht Schwingprüfung B2B V1 EN62477-1
Dokumenten-Nr.: D0904865-0
Rev. 0, Datum: 13.02.2020

- [1.1.18] ENERCON
Prüfbericht Prüfung Hydrostatischer Druck B2B V1 EN62477-1
Dokumenten-Nr.: D0918347-0
Rev. 0, Datum: 18.02.2020

- [1.1.19] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung der Vollständigkeit des Schutzgehäuses B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0850230-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.20] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung Kondensatorentladung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0850716-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.21] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung Messung des Berührungsstromes B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0850970-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.22] ENERCON
Prüfbericht, Prüfung Erwärmungsprüfung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0896794-0
Rev. 0, Datum: 18.02.2020

- [1.1.23] ENERCON
Prüfbericht, Wechsel- oder Gleichspannungsprüfung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0927995-0
Rev. 0, Datum: 17.02.2020

- [1.1.24] ENERCON
Prüfbericht, Trockene Wärme Prüfung B2B V1
Dokumenten-Nr.: D0928000-0
Rev. 0, Datum: 18.02.2020

- [1.1.25] AIT
Prüfbericht, ENERCON_EN62447-1 B2B-Umrichter 365kVA
Dokumenten-Nr.: SGP-15893_01R1
Rev. R1, Datum: 17.01.2020

Blitzschutz

- [1.1.26] ENERCON
Technische Beschreibung Blitzschutz
ENERCON Windenergieanlagen EP1, EP2, EP3
Dokumenten-Nr.: D0260891-11
Rev. 11, Datum: 28.10.2019

- [1.1.27] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Flachgründung mit Teilauftrieb
Dokumenten-Nr.: D0872882-0
Rev. 0, Datum: 23.09.2019

- [1.1.28] ENERCON
Zeichnung Leerrohr- und Blitzschutzplan, Tiefgründung mit Teilauftrieb
Dokumenten-Nr.: D0872883-0
Rev. 0, Datum: 24.09.2019

- [1.1.29] ENERCON
Technische Beschreibung
Blitzschutzsystem des Rotorblattes E-115 EP3-RB-03
Dokumenten-Nr.: D0816572-0
Rev. 0, Datum: 14.05.2019

- [1.1.30] TÜV Süd
Gutachtliche Stellungnahme, Isoliertes Multi-Rezeptor Blitzschutzsystem
Prüfnummer: 2632058-31-d
Rev. 0, Datum: 30.08.2017

- [1.1.31] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Blitzschutzkabel
Dokumenten-Nr.: R1153.190.10002
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.32] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Montage Anbauteile
Dokumenten-Nr.: R1153.190.10001
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.33] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Zusammenbau
Dokumenten-Nr.: R.1153.190.10003
Rev. 0, Datum: 15.04.2019

- [1.1.34] ENERCON
Zeichnung Blitzschutzsystem Ableitring
Dokumenten-Nr.: R1265.190.10003
Rev. 1, Datum: 06.03.2019

- [1.1.35] ENERCON
Technische Information Messung des Erdungswiderstands
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-DC008-Messung des Erdungswiderstands-
Rev006de-de
Rev. 6, Datum: 30.08.2016

Schleifringübertrager

- [1.1.36] ENERCON
Spezifikation Schleifringübertrager EP3-003-BH1-ENC=-FORJ1
Dokumenten-Nr.: D0866477-0
Rev. 0, Datum: 11.09.2019
- [1.1.37] ENERCON
Schaltplan Schleifringübertrager
Dokumenten-Nr.: D0840907-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019

Elektrischer Antrieb Azimut

- [1.1.38] ENERCON
Spezifikation dezentrale Azimutantriebe 3,3 kW
Dokumenten-Nr.: D0632905-8
Rev. 8, Datum: 08.10.2019
- [1.1.39] Getriebebau NORD
Motordatenblatt Motortyp 112MH/4 BRE60 PT1000
Dateiname: Motordatenblatt_ENERCON-Azimutmotor_NC
Rev. -, Datum: 24.10.2019
- [1.1.40] Drivesystem NORD
Motoren Betriebs- und Montageanleitung
Dokumenten-Nr.: B 1091 de-2319
Rev.B 1091, Datum: 06.2019
- [1.1.41] Getriebebau NORD
Bild Typenschild
Dateiname: Motor-TS_Enercon Azimut NC
Rev. -, Datum: 25.10.2019 (empfangen)
- [1.1.42] Drivesystem NORD
Auszug vom Handbuch für Frequenzumrichter
Dokumenten-Nr.: BU 0200 de-3118
Rev. -, Datum: 25.10.2019 (empfangen)

- [1.1.43] Drivesystem NORD
Bild Typenschild
Dateiname: Typenschild-SK200E
Rev., Datum: 25.10.2019 (empfangen)

Elektrischer Antrieb Pitch

- [1.1.44] ENERCON
Technische Beschreibung Elektrisches Blattverstellsystem
ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3, E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0854579-0
Rev. 0, Datum: 29.08.2019
- [1.1.45] ENERCON
Spezifikation Blattverstellmotor DC-8.8kW-38x58-FF265-85
Dokumenten-Nr.: D0765312-1
Rev. 1, Datum: 29.08.2019
- [1.1.46] ENERCON
Zeichnung pitch motor DC-8.8W-38x58-FF265-85
Dokumenten-Nr.: EP3.01.130-0
Rev. 0, Datum: 21.08.2019
- [1.1.47] Emod Motoren
Datenblatt DC Pitchmotor ENERCON E-138 EP3 E2 und E115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0873507-0
Rev. 1, Datum: 19.09.2019
- [1.1.48] Emod Motoren
Massblatt für Motor
Dokumenten-Nr.: B0616.20.116549-00; ENERCON Dokumenten-Nr.:
D0896099-0
Rev. 0, Datum: 07.11.2019
- [1.1.49] ENERCON
Messbericht Blattverstellmotor Emod E-138EP3E2
Dokumenten-Nr.: D0847529-0
Rev. 0, Datum: 07.11.2019
- [1.1.50] ENERCON
Messbericht IB BVS E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0861403-0
Rev. 0, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

Back-up System, Ladegeräte, Energiespeicher

- [1.1.51] LS Mtron Ltd.
Product Specification LSUC 002R7C 3000F EA LT02 EN
Dokumenten-Nr.: V7_20180501
Rev. -, Datum: 20.11.2019 (empfangen)

Kabel und sonstige elektrische Ausrüstung

- [1.1.52] ENERCON
Auslegung Turmkabelanlage E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2
Dokumenten-Nr.: D0854039-1
Rev. -, Datum: 01.08.2019 (empfangen)
- [1.1.53] Prysmian
Data sheet PROTOTHEN-X (N)A2XSY
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0629505-0
Rev. -, Datum: 31.07.2017
- [1.1.54] Prysmian
Data sheet WINDFLEX GLOBAL EMC S-3GDSHOEU
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0630109-0
Rev. -, Datum: 04.09.2017
- [1.1.55] ENERCON
Technical Description ENERCON Wind Energy Converter Steady-State
Short-Circuit Calculations
Dokumenten-Nr.: D0138322-11
Rev. 11, Datum: 30.08.2019

Schaltpläne

- [1.1.56] ENERCON
Übersichtsschaltplan E-138 EP3 E2 / E-115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0842364-0
Rev. 0, Datum: 18.07.2019
- [1.1.57] ENERCON
Blattsicherheitsschrank
Dokumenten-Nr.: D0845302-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019
- [1.1.58] ENERCON
Kondensatoreinheit Rotor
Dokumenten-Nr.: D0844192-0
Rev. 0, Datum: 04.07.2019

- [1.1.59] ENERCON
Rotorunterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0840424-0
Rev. 0, Datum: 02.07.2019

- [1.1.60] ENERCON
Unterverteilung Rotorsensorik
Dokumenten-Nr.: D0840182-0
Rev. 0, Datum: 24.06.2019

- [1.1.61] ENERCON
Trafo Rotor
Dokumenten-Nr.: D0808281-0
Rev. 0, Datum: 07.06.2019

- [1.1.62] ENERCON
Überdrehzahlschalterbox
Dokumenten-Nr.: D0787934-1
Rev. 1, Datum: 03.07.2019

- [1.1.63] ENERCON
Blattregelschrank
Dokumenten-Nr.: D08765436-0
Rev. 0, Datum: 01.07.2019

- [1.1.64] ENERCON
Blattrelaisschrank
Dokumenten-Nr.: D0763164-0
Rev. 0, Datum: 02.11.2018

- [1.1.65] ENERCON
Überspannungsschutz Rotor
Dokumenten-Nr.: D0717699-0a
Rev. 0a, Datum: 19.06.2019

- [1.1.66] ENERCON
Lastregelschrank
Dokumenten-Nr.: D0609510-1
Rev. 1, Datum: 29.06.2018

- [1.1.67] ENERCON
Unterverteilung Statortemperaturfühler
Dokumenten-Nr.: D0845466-0
Rev. 0, Datum: 09.07.2019

- [1.1.68] ENERCON
Unterverteilung Statortemperaturfühler
Dokumenten-Nr.: D0842996-0
Rev. 0, Datum: 08.07.2019

- [1.1.69] ENERCON
Statorunterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0843187-0
Rev. 0, Datum: 12.07.2019

- [1.1.70] ENERCON
Schaltschrank el. Grundversorgung Gondel
Dokumenten-Nr.: D0829101-0
Rev. 0, Datum: 24.05.2019

- [1.1.71] ENERCON
Gondelsteuerschrank
Dokumenten-Nr.: D0820846-0
Rev. 0, Datum: 19.06.2019

- [1.1.72] ENERCON
Hauptverteilung Gondel
Dokumenten-Nr.: D0804950-0
Rev. 0, Datum: 05.07.2019

- [1.1.73] ENERCON
Erregersteller
Dokumenten-Nr.: D0791859-0
Rev. 0, Datum: 08.02.2019

- [1.1.74] ENERCON
Unterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0753082-0
Rev. 0, Datum: 15.11.2018

- [1.1.75] ENERCON
Fehlerstromüberwachung Generator
Dokumenten-Nr.: D0743703-2a
Rev. 2a, Datum: 05.07.2019

- [1.1.76] ENERCON
Freischaltbox Blattheizung
Dokumenten-Nr.: D0722985-1
Rev. 0, Datum: 06.12.2018

- [1.1.77] ENERCON
Unterverteilung Dachmodul
Dokumenten-Nr.: D0665663-1
Rev. 0, Datum: 06.09.2018

- [1.1.78] ENERCON
Akkuschrank
Dokumenten-Nr.: D0665360-0
Rev. 0, Datum: 23.01.2018

- [1.1.79] ENERCON
Stromschiene
Dokumenten-Nr.: D0849265-0
Rev. 0, Datum: 17.07.2019

- [1.1.80] ENERCON
Elektrische Ausrüstung
Dokumenten-Nr.: D0840479-0
Rev. 0, Datum: 24.06.2019

- [1.1.81] ENERCON
Schaltschrank el. Grundversorgung WEA
Dokumenten-Nr.: D0840350-0
Rev. 0, Datum: 24.06.2019

- [1.1.82] ENERCON
USV Anlagensteuerung
Dokumenten-Nr.: D0833460-0
Rev. 0, Datum: 13.06.2019

- [1.1.83] ENERCON
Netzfilterschrank
Dokumenten-Nr.: D0825801-0
Rev. 0, Datum: 16.05.2019

- [1.1.84] ENERCON
Hauptverteilung WEA
Dokumenten-Nr.: D0770900-1
Rev. 1, Datum: 17.06.2019

- [1.1.85] ENERCON
Steuerschrank Transformator
Dokumenten-Nr.: D0757359-1
Rev. 1, Datum: 04.02.2019

- [1.1.86] ENERCON
Zählerschrank
Dokumenten-Nr.: D0736809-0
Rev. 0, Datum: 12.04.2019

- [1.1.87] ENERCON
Versorgung Steuerschrank Transformator
Dokumenten-Nr.: D0686326-1
Rev. 1, Datum: 14.08.2018

- [1.1.88] ENERCON
DC Ladeeinheit
Dokumenten-Nr.: D0686074-1
Rev. 1, Datum: 01.04.2019

- [1.1.89] ENERCON
Übersichtsschaltplan Erdung E-138 EP3 E2 / E115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0845846-0a
Rev. 0a, Datum: 02.07.2019

Transformator

- [1.1.90] ENERCON
Specification Transformer 4,6MVA 630V KW M
Dokumenten-Nr.: D0726692-4
Rev. -, Datum: 20.06.2019

- [1.1.91] ENERCON
Specification Transformer 5,0MVA 630V KW M
Dokumenten-Nr.: D0747721-5
Rev. -, Datum: 19.07.2019

- [1.1.92] ENERCON
Type certification of distribution transformers
Dokumenten-Nr.: PM-EW-AA012-Typenprüfung WEA Trafos-Rev001 ger-
eng
Rev. 1, Datum: 17.02.2014

- [1.1.93] J. Schneider Elektrotechnik
Technical data sheet HPNW 5000A
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190719
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850658-1
Rev. -, Datum: 19.07.2019

- [1.1.94] J. Schneider Elektrotechnik
Technical data sheet HPNW 5000A
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190719
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850655-1
Rev. -, Datum: 19.07.2019

- [1.1.95] Siemens AG Österreich
Technical data sheet – ENERCON SAP XXXXX
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0850158-1
Rev. 00, Datum: 18.07.2019

- [1.1.96] SBG
Technical specification VEY17265
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0848970-1
Rev. -, Datum: 27.02.2019

- [1.1.97] SBG
Technical specification VEY17266
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0848966-1
Rev. -, Datum: 27.02.2019

- [1.1.98] Siemens AG Österreich
Technical data sheet – ENERCON SAP XXXXX
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0927913-0
Rev. 00, Datum: 05.02.2020

- [1.1.99] SBG
Technical specification VEY17391
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0927915-0
Rev. -, Datum: 04.02.2020

- [1.1.100] J. Schneider Elektrotechnik
Technisches Datenblatt HBNW 5000A
Dokumenten-Nr.: BNW 5000A-D0001 – 190709
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0917413-0
Rev. -, Datum: 09.07.2019

Mittelspannungsschaltanlage

- [1.1.101] ENERCON
Spezifikation ENERCON Mittelspannungsschaltanlage für den Einsatz im E-Modul
Dokumenten-Nr.: PLM-EWES-SP026 MS-Schaltanlage Kurzversion-Rev000de_de
Rev. 0, Datum: 07.11.2017

- [1.1.102] Driescher
Technical Data MINEX ABS® zero 12-24 kV
Dokumenten-Nr.: E6697-A14Z ABS12-24; ENERCON Dokumenten-Nr.:
D0708078-0
Rev. -, Datum: 15.06.2016

- [1.1.103] Driescher
Konformitätserklärung MINEX ABSzero®24 kV K-L
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0751294-0
Rev. -, Datum: 19.09.2018

- [1.1.104] Driescher
Technical description ABS® zero
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0708521-0
Rev. -, Datum: 19.09.2019 (empfangen)

- [1.1.105] Driescher
Schaltplan MINEX-24KV A-L
Dokumenten-Nr.: ES0178874
ENERCON Dokumenten-Nr.: D0753508-0
Rev. -, Datum: 05.09.2018

- [1.1.106] Driescher
Typprüfung SF₆-isolierte Mittelspannungs-Schaltanlage 36 kV/630 A
Typ MINEX® ABSzero®
Dokumenten-Nr.: A14Z SF₆-Anlage ABS zero mit LS und Messfeld 36-630
Typprüfung deutsch 11-19
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

- [1.1.107] Driescher
Typprüfung SF₆-isolierte Mittelspannungs-Schaltanlage 12-24 kV/630 A
Typ MINEX® ABSzero®
Dokumenten-Nr.: A14Z SF₆-Anlage 12-24-630 MINEX ABSzero Typprüfung
deutsch 11-19
Rev. -, Datum: 18.11.2019 (empfangen)

- [1.1.108] Driescher
Bestätigung MINEX® ABSzero® (12-24 kV)
Dokumenten-Nr.: Bestätigung MINEX ABS zero Typprüfung 07-15
Rev. -, Datum: 07.11.2019

- [1.1.109] Driescher
Bestätigung MINEX® ABSzero® (36 kV)
Dokumenten-Nr.: Bestätigung MINEX ABS zero Typprüfung 07-15
Rev. -, Datum: 07.11.2019

EMV

- [1.1.110] ENERCON
Prüfanforderungen EMV Erforderliche Prüfungen
Dokumenten-Nr.: D0652486-4
Rev. 4, Datum: 05.08.2019

- [1.1.111] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Rotorunterverteilung
Dokumenten-Nr.: D0894800-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.112] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Lastregelschrank
Dokumenten-Nr.: D0870494-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.113] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Gondelsteuerschrank
Dokumenten-Nr.: D0869469-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.114] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Steuerschrank
Dokumenten-Nr.: D0869004-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.115] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Montageplatte
Dokumenten-Nr.: D0866196-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.116] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
Optoverteiler VAR
Dokumenten-Nr.: D0866195-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.117] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
IE Client VAR
Dokumenten-Nr.: D0866192-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.118] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
Versorgung intern VAR
Dokumenten-Nr.: D0866191-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.119] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Einschubrahmen
Einspeisung 230V/400V VAR
Dokumenten-Nr.: D0866190-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.120] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Leistungsschrank
Dokumenten-Nr.: D0855915-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.121] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattregelschrank
Dokumenten-Nr.: D0853523-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.122] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Schleifringübertrager
Dokumenten-Nr.: D0853027-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.123] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Eisansatzerkennung
Dokumenten-Nr.: D0851886-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.124] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Netzfilterschrank
Dokumenten-Nr.: D0849903-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

- [1.1.125] ENERCON
Risikobeurteilung nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU Blattrelaisschrank
Dokumenten-Nr.: D0848587-0
Rev. 3, Datum: 04.07.2019

1.2 Zugehörige Dokumente

- [1.2.1] ENERCON
Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3
Dokumenten-Nr.: D0832892-1a
Rev. 1a, Datum: 12.09.2019

- [1.2.2] ENERCON
Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen
Dokumenten-Nr.: D0666243-3
Rev. 3, Datum: 30.08.2018

- [1.2.3] ENERCON
Safety Concept / Safety Requirement Specification
ENERCON Windenergieanlagen E-138 EP3, E-138 EP3 E2 und E-115 EP3
E3
Dokumenten-Nr.: D0830549-0a
Rev. 0a, Datum: 02.08.2019

- [1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH
Evaluation Report ENERCON E-115 EP3 E3
Electrical Equipment and Lightning Protection
Report No.: 8116 503 696 – 5 E, Rev. 1, Datum: 11.05.2020

- [1.2.5] ENERCON
Technische Beschreibung - ENERCON Windenergieanlagen
Option Cold Climate
Dokumenten-Nr.: D0160496-3
Rev. 3, Datum: 2014-04-23

- [1.2.6] ENERCON
Stellungnahme – Offene Punkte Elektrik
Dokumenten-Nr.: D0958540-0
Rev. 0, Datum: 2020-05-05

2 Prüfgrundlagen

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

- [2.2] IEC 61400 22:2010 (DIN EN 61400-22:2011)
Windenergieanlagen, Teil 22: Konformitätsprüfungen und Zertifizierung

- [2.3] IEC 61400 1 (DIN EN 61400-1:2011)
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen
Dritte Ausgabe 2005-08 mit Änderungen A1 2010-07

- [2.4] IEC 60034-1:2010 (DIN EN 60034-1:2011)
Drehende elektrische Maschinen
Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten

- [2.5] IEC 60204-1:2016 (DIN EN 60204-1:2007)
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen -
Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [2.6] IEC 61400-24:2010 (DIN EN 61400-24:2011)
Windenergieanlagen, Teil 24: Blitzschutz
- [2.7] IEC 62305:2010 Serie (DIN EN 62305:2011)
Blitzschutz
- [2.8] IEC 60076-1:2011 (DIN EN 60076:2012)
Leistungstransformatoren, Teil 1: Allgemeines
- [2.9] IEC 62271-1:2007 (DIN EN 62271-1:2007)
Hochspannungs-Schaltgeräte und –Schaltanlagen
Teil 1: Gemeinsame Bestimmungen
- [2.10] DIN EN 62477-1:2013-04
Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme und -be-
triebsmittel, Teile 1: Allgemein
- [2.11] EN 61000-6-4:2006 + A1:2010
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Stör-
aussendung für Industriebereiche
- [2.12] EN 61000-6-2:2005
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Stör-
festigkeit für Industriebereiche
- [2.13] Verordnung (EU) Nr. 548/2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des
Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittel-leis-
tungs- und Großleistungstransformatoren
- [2.14] DIN 50522:2010
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
- [2.15] DIN 18014:2014
Fundamenterder – Allgemeine Planungsgrundlagen

3 Einleitung

In der DIBt-Richtlinie werden keine direkten Anforderungen an die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz gestellt. Deshalb wurden für diese Gutachtliche Stellungnahme die Anforderungen der IEC 61400-22 / DIN EN 61400-22 und der IEC 61400-1 / DIN EN 61400-1 als Prüfgrundlage definiert. Die Windenergieanlagen (WEA) ENERCON E-115 EP3 E3 wurde bereits im Rahmen der Typzertifizierung auf Erfüllung der Anforderungen der IEC 61400-22 und IEC 61400-1 überprüft [1.2.4].

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Beschreibung der WEA Konfigurationen

Die Prüfung des elektrischen Systems und des Blitzschutzes berücksichtigt die folgenden WEA Konfigurationen:

WEA Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Frequenz	Max. Nennleistung	Turm / Hubhöhe	Rotordurchmesser / Blatt	Klimabedingung
1	E-115 EP3 E3	50/60 Hz	4.2 MW	Stahl oder Hybrid 67, 87, 89, 92, 122, 135, 149m	116.028 m / E-115 EP3-RB-03	STW / CCV ¹

Table 4-1: WEA Konfiguration

Die IEC 61400-1 führt eine Standardluftdichte von 1,255 kg/m³ auf, die bei der Evaluierung der Komponenten zu beachten ist. Die angegebene Luftdichte gibt den durchschnittlichen Wert bei 1000 m über NN Installationshöhe an. Dieser Wert wurde für die vorliegenden Prüfungen herangezogen.

4.2 Klimatische Bedingungen

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

Temperaturversion:	Betriebstemperatur:	Auslegungstemperatur:
Standard Weather Edition (STW)	-10 °C bis 40 °C	-20 °C bis 50 °C
Cold Climate Version (CCV)	-40 °C bis 50 °C ²	-40 °C bis 50 °C

Table 4-2: Temperaturversionen

¹ STW: Standard Weather Edition, CCV: Cold Climate Version

² Leistungsreduktion für Temperaturen unter -30 °C.

4.3 Eigenschaften Elektrische Komponenten

- **Generator**

Hersteller:	ENERCON
Typ:	synchron
Bezeichnung:	E-115 EP3 E3-GE-01
WEA Variante:	1
Scheinleistungsbereich:	0 – 5500 kVA
Nennleistung:	4675 kW
Spannung:	4 x 2Y x 780 V AC
Strom:	600 A
Drehzahl:	0 – 13,9 min ⁻¹ (12,9 min ⁻¹)
Frequenz:	0 – 11,8 Hz (11,8 Hz)
Isolationsklasse:	F
Anzahl Pole:	51
Schutzart:	IP23
Kühlungsart:	IC3A6
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 20 °C ³

- **Umrichter**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	Leistungsschrank - B2B V2
Artikelnummer:	676555 (716670, 737832)
WEA Variante:	1
Leistung (netzseitig):	365 kVA
Nennspannung (netzseitig):	630 V AC
Nennstrom (netzseitig):	335 A
Nennspannung (maschinenseitig):	740 V AC
Nennstrom (maschinenseitig):	335 A

³ Steigt die Umgebungstemperatur über 20 °C, greift ggf. die thermische Regelung des Generators. Dabei wird der Generator temperaturgeregelt weiterbetrieben, was zu einer Leistungsreduktion führen kann.

Überspannungskategorie:	III
Frequenz:	50/60 Hz \pm 7 Hz
Schutzart:	IP01 (IP21 installiert)
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 50 °C ⁴

- **Pitchsystem**
Motor

Hersteller:	Emod
Typ:	Gleichstrommotor
Bezeichnung:	GKFB160L/4-220
WEA Variante:	1
Nennleistung:	8,8 kW (Nebenschluss)
Ankerspannung:	150 V DC
Nennspannung Erregung:	110 - 130 V DC
Nennstrom:	65 A
Erregerstrom:	2,1 A
Drehzahl:	1830 min ⁻¹
Isolationsklasse:	F
Schutzart:	IP55
Betriebstemperaturbereich:	-40 °C bis 60 °C

Energiespeicher:

Typ:	Ultrakondensatoren
Hersteller:	LS Mtron
Bezeichnung:	LSUC 002R7C 3000F EA LT02 EN
WEA Variante:	1
Anzahl / Blatt:	4 Module ⁵

⁴ Betrieb bis -40 °C mit reduzierter Leistung.

⁵ Die Ultrakondensatoren werden vom Hersteller in Modulen installiert (Modul 94 F, 75 V).

Nennspannung (DC): 2,7 V (Kondensator) / 75 V (Modulspannung)

Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis 65 °C

Azimut Motor:

Hersteller: Getriebebau NORD

Typ: 3~ A.C. Bremsmotor

Bezeichnung: SK112MH/4 BRE60 PT1000

WEA Variante: 1

Nennleistung: 4,0 kW

Nennspannung: 400/690 V

Nennstrom: 8,02/4,63 A

Drehzahl: 1440 min⁻¹

Frequenz: 50 Hz⁶

Isolationsklasse: F

Schutzart: IP66

Einbauart: B5

Max. Installationshöhe: 1000 m

Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis 50 °C

Azimutumrichter:

Hersteller: Getriebebau NORD
(Drivesystem NORD)

Bezeichnung: SK 200E-551-340-A-C

WEA Variante: 1

Nennleistung (Ausgang): 5,5 kW

Nennspannung (Eingang): 3~ 380 – 500 V AC

Nennspannung (Ausgang): 0 – Eingangsspannung
0 – 400 Hz

Nennstrom (Eingang): 11,7 A

⁶ Der Motor wird über einen Frequenzumrichter betrieben. Deshalb kann der Motor auch für die 60 Hz Variante eingesetzt werden.

Nennstrom (Ausgang):	12,5 A
Frequenz (Eingang):	47 – 63 Hz
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 40 °C

- **Schleifring**

Hersteller:	ENERCON
Bezeichnung:	EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1
WEA Variante:	1
Anzahl Schleifringe:	22 + FORJ
Drehzahl:	10,8 min ⁻¹
Schutzart:	IP53
Betriebstemperaturbereich:	-30 °C bis 70 °C

- **Transformator**

Hersteller:	J. Schneider Elektrotechnik	SBG	SBG
Bezeichnung:	HPNW 4500A-1802T10001	DST 5000 H/20	DST 5000 H/30
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz ⁷	50 Hz ⁷	50 Hz ⁷
Nennleistung:	4500 kVA	5000 kVA	5000 kVA
Nennspannung (HV):	20000 V	20000 V	30000 V
Nennspannung (LV):	400 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+2,5/5/7,5/10 %	+4x2.5 %	+4x2.5 %
Kühlung:	KFAF	KFWF	KFWF
Schutzart:	IP00	IP54	IP54

⁷ Der Transformator muss projektspezifisch angepasst werden. Wir haben keine Einwände, die aufgeführten Transformatoren in 60 Hz Varianten zu installieren.

Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C	-25 °C bis 50 °C
----------------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Weitere Transformatoren

Hersteller:	Siemens	J. Schneider Elektrotechnik	J. Schneider Elektrotechnik
Bezeichnung:	TDU-503A02W5N- 99	HPNW 5000A-	HPNW 5000A-
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz ⁷	50 Hz ⁷	50 Hz ⁷
Nennleistung:	5000 kVA	5000 kVA	5000 kVA
Nennspannung (HV):	20000 V	20000 V	30000 V
Nennspannung (LV):	630 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	+4x2,5 %	+4x2,5 %	+4x2,5 %
Kühlung:	KFWF	KFWF	KFWF
Schutzart:		IP00	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C

Weitere Transformatoren:

Hersteller:	SBG	J. Schneider Elektrotechnik	Siemens
Bezeichnung:	DST 4600 H/30	HBNW 5000A	TDU- 503A02W5H-TU
WEA Variante:	1	1	1
Typ:		ölgefüllt	
Frequenz:	50 Hz	60 Hz ⁸	50 Hz ⁷
Nennleistung:	4600 kVA	5000 kVA	4600 kVA
Nennspannung (HV):	34500 V	34500 V	34500 V

⁸ Der Transformator muss projektspezifisch angepasst werden. Wir haben keine Einwände, die aufgeführten Transformatoren in 50 Hz Varianten zu installieren.

Nennspannung (LV):	630 V	630 V	630 V
Schaltgruppe:	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Anzapfungen:	±2x5 %	±2x2,5 %	±2x5 %
Kühlung:	KFWF	KFWF	KFWF
Schutzart:	IP00 ⁹	-	IP00
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 50 °C	-40 °C bis 50 °C	-20 °C bis 50 °C
Max. Installationshöhe:	2000 m	1000 m	2000 m

- **Mittelspannungsschaltanlage**

Hersteller:	Driescher
Bezeichnung:	Minex ABS [®] zero 12-24 kV
WEA Variante:	1
Frequenz:	50/60 Hz
Nennspannung:	12 kV 17,5 kV 24 kV
Nennstrom (Kabelabgang):	630 A
Nennstrom (Leistungsschalter):	630 A
Schutzart:	Tank IP67 ¹⁰
Isolationsmedium:	SF ₆
Störlichtbogenklassifikation:	IAC AFLR 20kA 1s
Betriebstemperaturbereich:	-25 °C bis 60 °C

- **Blitzschutz**

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

⁹ Schutzart der Durchführungen

¹⁰ Schaltgehäuse IP67, Frontabdeckung IP2X, Kabelfeld IP3X

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethode

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

5.2 Anmerkungen

- 5.2.1 Während der Inbetriebnahme und des ersten Starts der WEA sollten einige Tests durchgeführt werden. Unter anderem sollten die installierten Kabel auf Druckstellen geprüft werden. Des Weiteren sollten die Kabelbezeichnungen mindestens stichprobenartig überprüft werden. Diese Tests sind nur zwei Beispiele für Prüfungen, die durchgeführt werden sollten, bevor die WEA in den normalen Betrieb geht.
- 5.2.2 Es ist zu beachten, dass die Blitzableitung durchgängig und korrekt mit dem Erdungssystem verbunden ist. Zusätzliche Komponenten, welche nicht Teil der vorliegenden Prüfungen sind, wie z.B. Flugbefehrer oder Eissensoren, sind korrekt in das bestehende Blitzschutzsystem zu integrieren.
- 5.2.3 Die Konformität der Erdungsanlage des Fundamentes mit den einschlägigen Standards (DIN EN 50522, bzw. DIN 18014 für das Erdungssystem einer Hochspannungsanlage) und die Berücksichtigung der lokalen Vorschriften und Bedingungen vor Ort sind durch einen Fachmann zu bestätigen.
- 5.2.4 Wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Kabel von Nagetieren oder anderen Tieren beschädigt werden können, so müssen bewehrte Kabel oder Schutzrohre verwendet werden. ENERCON hat den Betreiber auf diese Tatsache hinzuweisen.
- 5.2.5 Die Erfüllung der Anforderungen der lokalen Netzbetreiber und die Einhaltung der Netzanschlusskriterien sind vom Hersteller vor der WEA-Installation zu überprüfen und nachzuweisen. Diese Nachweise sind nicht Teil der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme, sondern sind separat im Rahmen der Netzanschlussbegutachtung der Windenergieanlagen und der Windparks zu erbringen.
- 5.2.6 Die Konformitätsbescheinigung für die E-115 EP3 E3 [1.1.1] liegt nur im Entwurf vor. Die finale Version ist der Zertifizierungsstelle zu übermitteln.
- 5.2.7 Bei Installationen der E-115 EP3 E3 über 1000 m ü. NN ist zu prüfen, ob die elektrischen Komponenten die geänderten Anforderungen erfüllen.

5.3 Prüfbemerkungen

5.3.1 Allgemeine Anforderungen an das elektrische System

- Generator

Die E-115 EP3 E3 wird mit dem Generator E-115 EP3 E3-GE-01 des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Alle relevanten Daten zum Design werden in den Unterlagen [1.1.2] - [1.1.5] korrekt aufgeführt. Bei der Generatorfertigung werden schon einige Prüfungen durchgeführt. Die Messung des thermischen Verhaltens wird in der Prototyp WEA durchgeführt. Die E-115 EP3 E3 wurde noch nicht errichtet. Dementsprechend konnten die Prüfungen noch nicht durchgeführt werden. Bei ähnlichen Generatortypen lag die thermische Stabilität bei den Prüfungen des Generators deutlich unter den maximalen Auslegungstemperaturen [1.2.6]. Aufgrund der großen Erfahrung von ENERCON mit ähnlichen Generatortypen haben wir keine Einwände gegen den fehlenden Generatortest. Die abschließenden Prüfergebnisse der Generatorprüfungen sind noch einzureichen [6.1].

Der Generator E-115 EP3 E3-GE-01 ist entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 geplant.

- Umrichter

DIE WEA E-115 EP3 E3 ist mit 14 4-Q-Umrichtern, Bezeichnung Leistungsschrank - B2B V2 [1.1.6] - [1.1.12], ausgerüstet. Der Umrichter wird von ENERCON gemäß den Anforderungen der IEC 62477-1 entwickelt und konstruiert. ENERCON hat den Leistungsschrank zunächst nach den Anforderungen vom DNVGL-ST-0076 getestet. Dieser Standard umfasst auch die wichtigsten Prüfungen der IEC 62477-1. Allerdings sind die Prüfungen der IEC 62477-1 nicht komplett im DNVGL-ST-0076 erfasst. Deshalb sind die fehlenden Prüfungen der IEC 62477-1 noch durchzuführen. Der Typentest des B2B V2 wurde noch nicht durchgeführt. Der B2B V2 ist eine Weiterentwicklung des Vorgängermodells B2B V1 mit einer ähnlichen Konstruktion. Für den B2B V1 wurden die Tests erfolgreich durchgeführt [1.1.13] - [1.1.25]. ENERCON erwartet, dass sich das thermische und elektrische Verhalten der beiden Umrichter nicht wesentlich unterscheidet. Eine Prüfung zum Nachweis der Erfüllung der EMV-Anforderungen wurde noch nicht durchgeführt. Allerdings hat ENERCON eine EMV-Risikoanalyse durchgeführt. Wir haben keine Einwände gegen die fehlenden Testberichte. Diese sind nach Durchführung der Prüfungen der Zertifizierungsstelle vorzulegen [6.2].

- Pitch System

Jedes Rotorblatt ist mit einem DC Motor ausgerüstet. Der Motor wird über einen DC-Umrichter gesteuert. In besonderen Fällen kann der Motor direkt über die Notstromversorgung der Ultrakondensatoren versorgt werden. Der im Kapitel 4 aufgeführte Motor wird entsprechend der IEC 60034-1 konstruiert und getestet [1.1.31] - [1.1.37].

- Azimutantrieb

Die E-115 EP3 E3 ist mit 12 Azimutantrieben, bestehend aus Motor und Getriebe, ausgerüstet [1.1.25]. Es werden Drei-Phasen-Asynchron-Motoren eingesetzt. Die im Kapitel 4 aufgeführten Motoren sind entsprechend den Anforderungen der IEC 60034-1 ausgeführt und getestet. Eine Bremse und ein Temperaturfühler sind am Motor montiert [1.1.26] - [1.1.30].

- Schleifring

Die WEA E-115 EP3 E3 wird mit einem ENERCON eigenen Schleifringssystem, Bezeichnung EP3-003-BH1-ENC0-FORJ1 [1.1.23], [1.1.24], ausgerüstet. Der im Kapitel 4 aufgeführte Schleifring wird von ENERCON entsprechend den Umgebungsbedingungen im Hub ausgelegt.

- Transformator

Der Transformator ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. In den WEA E-115 EP3 E3 werden flüssigkeitsgefüllte (synthetisches Ester) Transformatoren eingesetzt. Die Anforderungen, wie Schutz gegen Kurzschluss, Temperatur, Drucküberwachung oder Füllstandsüberwachung werden in den ENERCON eigenen Spezifikationen [1.1.77] und [1.1.78] gefordert. Des Weiteren sind in [1.1.79] die erforderlichen Prüfungen und Tests beschrieben.

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

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

- Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage ist in dem E-Modul im Turmfuß installiert. Die Schaltanlage wird, wie schon oben bei den Transformatoren beschrieben, abhängig von den projektspezifischen Netzbedingungen ausgewählt, angepasst und installiert. Durch diese projektspezifische Anpassung der Schaltanlage wird im Rahmen der vorliegenden Prüfung nur jeweils eine Schaltanlage je Hersteller exemplarisch und stellvertretend geprüft und aufgeführt. Die Schaltanlage muss zum einen die unter [1.1.85] aufgeführten Anforderungen von ENERCON sowie zum anderen die relevanten Teile der IEC 62271 erfüllen.

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

- Schaltpläne

Die Schaltpläne [1.1.43] - [1.1.76] und zugehörigen Stücklisten wurden von uns stichprobenartig überprüft. Diese Überprüfung unter Berücksichtigung der Forderungen der IEC 60364 ergab keine Auffälligkeiten. So entsprechen z. B. die Dimensionierungen der Sicherungen den normativen Forderungen. Gegen die Installationen der Schutz- und Trenneinrichtungen gemäß den vorgelegten Schaltplänen haben wir keine Einwände.

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

Die Konformitätserklärung (CE) [1.1.1] für die E-115 EP3 E3 umfasst alle von ENERCON entwickelten und hergestellten elektrischen Komponenten.

5.3.2 Back-up Spannungsversorgungssystem

Jedes Blatt ist mit einem Back-up Spannungsversorgungssystem ausgerüstet. Diese Systeme bestehen jeweils aus vier in Serie geschalteten Kondensatormodulen (75 V, 94 F).

Die Kapazitätsberechnungen für den Anforderungsfall sind in [1.1.31] ausreichend aufgeführt. Die Spannung der Kondensatoren wird permanent überwacht. Die Ladung der Module erfolgt durch das im Blattregelschrank installierte „capacitor-charging module“. Dieses Modul wird von ENERCON entwickelt.

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

5.3.3 Elektrische Leiter

Die E-115 EP3 E3 wird mit 14 Umrichtern ausgerüstet. Daher werden zwischen Generator und Umrichter 14*3 Leistungskabel installiert. Im Bereich Kabelloop werden Kupferkabel, z. B. WINDFLEX GLOBAL EMC (S-3GDSHOEU) von Prysmian [1.1.41] mit einem Querschnitt von 1x240 mm², und im Turm Aluminiumkabel, z. B. PROTOTHEN-X (N)A2XSY von Prysmian [1.1.40] mit einem Querschnitt von 1x240 mm², verwendet. Die Berechnung der Stromtragfähigkeit ist ausreichend in [1.1.39] dargestellt.

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

5.3.4 Schutz- und Trenneinrichtungen

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

Wartungszwecken. Außerdem ist das elektrische System der WEA mit Überspannungsschutzgeräten ausgerüstet.

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

5.3.5 Blitzschutz- und Erdungssystem

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

Die IEC 61400-1 fordert ein Blitzschutzsystem entsprechend der IEC 62305. Außerdem ist für WEA die IEC 61400-24 zu beachten.

Das Blitzschutzsystem der ENERCON WEA E-115 EP3 E3 ist für den Gefährdungspegel LPL I ausgelegt [1.1.13]. Dies ist das höchstmögliche Schutzlevel. Die Festlegung der verschiedenen Blitzschutz-zonen sowie auch der Potentialausgleich sind ebenfalls in diesem Dokument beschrieben.

Die Erdungsanlage der E-115 EP3 E3 ist in [1.1.76] aufgezeigt. Die notwendigen Messungen des Erdungswiderstandes sind in [1.1.22] beschrieben und ein generisches Erdungssystem ist in den Zeichnungen [1.1.14] und [1.1.15] dargestellt. Zur Erfüllung der Anforderungen der Erdungsanlagen sind insbesondere im Rahmen der DIBt neben den IEC Anforderungen auch die Forderungen der DIN 50522 sowie DIN 18014 zur Planung und Ausführung von Erdungsanlagen zu berücksichtigen [5.2.3]. Die Erdungsanlage kann projektspezifisch auf die vorhandenen Erdungsbedingungen angepasst werden.

Die E-115 EP3 E3 wird mit E-115 EP3-RB-03 Rotorblättern des Herstellers ENERCON ausgerüstet. Das Design des Blattes sowie auch des Blitzschutzsystems ist ähnlich dem Blatt E-103 EP2-RB-01 [1.1.16]. Die Wirksamkeit des Blitzschutzsystems des Blattes E-103 EP2-RB-01 wurde entsprechenden den Anforderungen der IEC 61400-24 bereits durch den TÜV Süd geprüft [1.1.17]. ENERCON definiert eine erhöhte Anforderung LPL I+ (Spitzenstrom 300 kA, Ladung der Kurzentladung bis 150 C) für das Blitzschutzsystem der Rotorblätter. Diese Anforderung wurde ebenfalls vom TÜV Süd für das Rotorblatt E-103 EP2-RB-01 bestätigt. Die Betrachtung zur Ähnlichkeit der beiden vorgenannten Blätter beschreibt auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse zum Blitzschutzsystem vom Blatt E-103 EP2-RB-01 auf das Blatt E-115 EP3-RB-03. Des Weiteren ist das Blitzschutzsystem des Blattes E-115 EP3-RB-03 in den Zeichnungen [1.1.18] - [1.1.21] dargestellt.

Die Anforderungen der IEC 61400-1 werden vom Blitzschutzsystem der WEA E-115 EP3 E3 erfüllt.

5.3.6 Selbsterregung

Die E-115 EP3 E3 ist mit einem direkt gekoppelten Synchrongenerator ausgestattet. Der Generator wird elektrisch erregt, wodurch er sich nicht selbsterregen kann. Des Weiteren ist die WEA mit einem Vollumrichtersystem ausgestattet. Dieses ermöglicht die Trennung der Generatorverbindung. Daher sind die diesbezüglichen Anforderungen der Norm 61400-1 als erfüllt anzusehen.

5.3.7 Netzverträglichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit

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

Die IEC 61400-1 fordert die Vermessung der Netzverträglichkeit der WEA gemäß den Forderungen der IEC 61400-21. Die Validierung der entsprechenden Ergebnisse ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich, da der Prototyp der Anlagen noch nicht final errichtet ist.

Messungen zu Netzverträglichkeit entsprechend der IEC 61400-21 und den relevanten EMV-Standards werden am Prototyp der E-115 EP3 E3 durchgeführt.

Die Prüfprotokolle der EMV-Messungen sind dem TÜV NORD nach erfolgter Messung zu übersenden.

Die durchzuführenden EMV-Messungen sind im Dokument [1.1.110] aufgeführt. Diese Prüfungen sind noch nicht erfolgt. ENERCON hat Risikobeurteilungen nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU für die relevanten Komponenten durchgeführt [1.1.111] - [1.1.125]. Aufgrund der Risikobeurteilungen haben wir keine Einwände gegen die fehlenden EMV-Messberichte.

5.3.8 Kalt-Wetter-Ausführung

Die E-115 EP3 E3 kann auch als Kalt-Wetter-Ausführung (CCV) ausgerüstet werden. Die Anpassungen für diese Variante sind in [1.2.2] beschrieben. Einige Komponenten sind nicht für den gesamten Kalt-Wetter-Temperaturbereich ausgelegt. Die Aufheizstrategie ist im Dokument [1.2.5] beschrieben.

5.4 Schnittstellen

Die Sicherheitskette ist in Dokument [1.2.3] beschrieben. Die Sensoren und Aktoren der Sicherheitskette sind in den WEA Schaltplänen korrekt dargestellt.

6 Auflagen

Die beiden unten aufgeführten Auflagen für das elektrische System der E-115 EP3 E3 werden von uns als nicht sicherheitskritisch bewertet. Die entsprechenden Nachweise, dass die Auflagen geklärt sind, müssen vor der endgültigen Inbetriebnahme der E-115 EP3 E3 eingereicht werden.

- 6.1 Die Prüfberichte für den Generator E-115 EP3 E3-GE-01 sind der Zertifizierungsstelle schnellstmöglich vorzulegen.
- 6.2 Die Testberichte für den Leistungsschrank - B2B V2 sind der Zertifizierungsstelle schnellstmöglich zu übermitteln. Weiterhin sollte ein Nachweis der Erfüllung der EMV-Anforderungen für den Leistungsschrank eingereicht werden.

7 Schlussfolgerung

Das elektrische System der E-115 EP3 E3 - die zugehörigen Anlagen sind im Detail unter Kapitel 4.1 aufgelistet - erfüllt die Anforderungen der DIN EN 61400-1 und somit auch die Anforderungen der DIBt.

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

Sachverständiger:



M. Sc. Holger Grafe

Freigabe:



Dipl. Ing. Christian Hering

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlage E-115 EP3 E3
unterschiedliche Konfigurationen und Nabenhöhen

- Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 -

TÜV NORD Bericht-Nr.:	8116503696-3 D, Rev. 1
Gegenstand der Prüfung:	Konstruktion und statischer Blatttest für das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 mit Lasten nach DIBt (2012)
Anlagenhersteller	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Germany
Dokumentation:	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Germany
Anmerkungen	Die Lasten für die Konfiguration 1 sind nicht evaluiert.

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 12 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständiger
0	25.11.2019	Erste Revision	Dipl.-Ing. M. Passow
1	13.01.2021	Lastkonfigurationen 4 und 5 hinzugefügt via Lastvergleich / Strukturanalyse: [1.1.18] bis [1.1.22] sowie [1.2.3] und [1.2.4]; Design Basis und Testberichte aktualisiert: [1.2.6], [1.2.7] und [1.2.9]	Dipl.-Ing. M. Polster

Inhaltsverzeichnis

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

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

- [1.1.1] Nachweis Rotorblatt, "Verification Report Rotor Blade E-115 EP3-RB-03 of E-115 EP3 E3 Wind Energy Converter Static and Fatigue calculation, für Lasten nach: IEC 3: WK I-a, WK S, DiBt 2012: WZ 4, GK I & II"
Dokument-Nr.: D0820173-0, Rev. 0, Datum: 08.08.2019
- [1.1.2] "Nachweis Rotorblatt Anhang: Sicherheitsparameter & Berechnungsformeln"
Dokument-Nr.: D0169858-1a, Rev. 1a, Datum: 09.08.2019
- [1.1.3] "Nachweis zur Zertifizierung, Verbindung Blattanschluss E-115 EP3-RB-03 der Windenergieanlage E-115 EP3 E3 Statischer Nachweis und Betriebsfestigkeit, für Lasten nach: IEC 3: WK I-a, WK S, DiBt 2012: WZ 4, GK I & II"
Dokument-Nr.: D0824050-0, Rev. 0, Datum: 21.08.2019

Zeichnungen

- [1.1.4] "Rotorblatt Maßblatt"
Zeichnungs-Nr.: R1153.110.10000, Rev. 1, Datum: 26.07.2019
- [1.1.5] "Rotorblatt Zusammenbau"
Zeichnungs-Nr.: R1153.110.10001, Rev. 0, Datum: 30.07.2019
- [1.1.6] "Blattanschluss Zusammenbau"
Zeichnungs-Nr.: R1153.180.10007, Rev. 04, Datum: 29.05.2019
- [1.1.7] "Blattanschluss Dehnbolzen DIN976 M42 497x37"
Zeichnungs-Nr.: R1153.180.10008, Rev. 0, Datum: 25.04.2019
- [1.1.8] "Vortex Generator, Typ A R02.01"
Zeichnungs-Nr.: R92.230.027, Rev. 01, Datum: 08.07.2016
- [1.1.9] "Hinterkantenkamm Zusammenbau"
Zeichnungs-Nr.: R1153.230.10001, Rev. 2, Datum: 28.03.2019
- [1.1.10] "Blattspitze Zusätzliche Befestigung"
Zeichnungs-Nr.: R1381.230.10000, Rev. 1, Datum: 27.05.2019

Vorgelegte Dokumente

- [1.1.11] "E-115 EP3-RB-03 Rotorblatt - Liste eingereicherter Unterlagen"
Dokument-Nr.: D0852910-14, Rev. 14, Datum: 27.11.2020

Materialtests und Spezifikationen

[1.1.12] "Spezifikation Materialkennwerte für die Rotorblattauslegung E-115 EP3-RB-03"
Dokument-Nr.: D0821076-3 , Rev. 3, Datum: 08.11.2019

Spezifikationen

[1.1.13] "Spezifikation Rotorblatt E-115 EP3-RB-03"
Dokument-Nr.: D0801489-0c, Rev. 0c, Datum: 19.08.2019

[1.1.14] "Spezifikation über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante
Mindestwerte für Rotorblätter allgemein"
Dokument-Nr.: D0223764-3, Rev. 3, Datum: 05.06.2019

[1.1.15] "Spezifikation über zulässige Fertigungstoleranzen und festigkeitsrelevante
Mindestwerte für das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03"
Dokument-Nr.: D0747742-2, Rev. 2, Datum: 09.08.2019

[1.1.16] "Spezifikation Aerodynamisch und aero-akustisch bedingte
Fertigungstoleranzen für Rotorblätter"
Dokument-Nr.: D0701822-1, Rev. 1, Datum: 19.03.2019

[1.1.17] "Spezifikation Aerodynamisch bedingte Fertigungstoleranzen für das Rotorblatt
E-115 EP3-RB-03"
Dokument-Nr.: D0794059-1, Rev. 1, Datum: 20.05.2019

Lastvergleich / Strukturanalyse für Lastkonfigurationen 4 und 5

[1.1.18] "Verification Report, E-115 EP3-RB-03 with towers, E-115 EP3 E3-ST-67-FB-C-
01, E-115 EP3 E3 ST-87-FB-C-01, E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01, E-115
EP3 E3-HST-149-ES-C-01, E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01_JP, Static and
fatigue verification, Load comparison LS08 and LS08+JP"
Dokument-Nr.: D0991026-0, Rev. 0, Datum: 11.10.2020

[1.1.19] "E-115 EP3-RB-03 Extreme load comparison LS08 vs. LS08+ & Japan tower"
Dokument-Nr.: D0991170-0a, Datum: 2020
SHA1 checksum: CC97F6BAF05EB110F9F25CB19149B2B6D128286E

[1.1.20] "E-115 EP3-RB-03 Fatigue verification LS08+ "
Dokument-Nr.: D0994548-0, Datum: 2020
SHA1 checksum: 64A5BE8EC29553874EAD6BF83F27242B7D886C42

[1.1.21] "E-115 EP3-RB-03 Fatigue verification JP"
Dokument-Nr.: D0994550-1, Datum: 2020
SHA1 checksum: 451D3EBB0D0EE097477E8330FB19A15749E1D18C

[1.1.22] "Load Comparison E-115 EP3-RB-03 Test loads vs. LS08+&JP"
Dokument-Nr.: D0995572-1, Datum: 2020
SHA1 checksum: 773717EC493C9AF3837A8AD8370D1328A53241FE

1.2 Dazugehörige Dokumente

Auslegungslasten

[1.2.1] "Lastenbericht Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 Abdeckende Lasten für das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 mit dem Maschinenbau E-115 EP3 E3 nach DIBt und IEC"
Dokument-Nr.: D0823252-0a, Rev. 0a, Datum:17.07.2019

[1.2.2] TÜV NORD CERT GmbH:
"Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -"
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8116503696-1 D III, Rev. 0, Datum: 19.11.2019

[1.2.3] Design load report, "Lastenbericht Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 Abdeckende Lasten für das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 mit dem Maschinenbau E-115 EP3 E3 nach DIBt und IEC"
Document-No.: D0942935-1d, Rev. 1d, dated 21.11.2020

[1.2.4] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Wind Turbine E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-RB-03, Various HH, Various IEC Wind Classes - Load Assumptions for Blade and Machinery -"
TÜV NORD Report-No.: 8116503696-1 E III, Rev. 3, dated 23.11.2020

Design Basis

[1.2.5] "Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3"
Dokument-Nr.: D0832892-1, Rev. 1, Datum: 04.11.2019

[1.2.6] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Wind Turbine Platform ENERCON E-115 EP3 E3, IEC 61400-22 - Design Basis -"
TÜV NORD Report-Nr.: 8116503696-0 E, Rev.1, Datum: 25.08.2020

Statischer Rotorblatttest

[1.2.7] "Test Specification E-115 EP3-RB-03 Cener Go0002"
Dokument-Nr.: D0826667-5, Rev. 5, Datum: 07.05.2020

[1.2.8] "Test Report Initial Static Test E-115 EP3-RB-03 Go0002 Cener"
Dokument-Nr.: D0893558-0, Rev. 0, Datum: 15.11.2019

- [1.2.9] TÜV NORD CERT GmbH:
"Evaluation Report, Full scale rotor blade tests Rotor blade E-115 EP3 RB-03"
TÜV NORD Report-Nr.: 8116503696-3t E, Rev.1, Datum: 26.11.2020

Zeichnungen

- [1.2.10] IMO GmbH & Co. Kg:
Blattlagerzeichnung, "12874 Rollen-DV, 3-reihig"
Zeichnungs-Nr.: 32-362998/4-12874, Rev. A, Datum: 18.09.2019
Enercon-Dokument-Nr.: D0733727-4, Rev. 4, Datum: 18.09.2019
- [1.2.11] Liebherr Components Biberach GmbH:
Blattlagerzeichnung, "Rollendrehverbindung"
Zeichnungs-Nr.: ROD02994-032DJ18-001-000, Rev. 3.2, Datum: 22.07.2019
Enercon-Dokument-Nr.: D0812815-3, Rev. 3, Datum: 22.07.2019

2 Prüfgrundlagen

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

Anerkannte Regelwerke

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

3 Einleitung

Dieses Dokument beschreibt die Prozedur und die Ergebnisse der Nachweisführung des Rotorblattes E-115 EP3-RB-03 für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3 nach DIBt 2012 Standard mit Anlehnung an IEC 61400-22 in Kombination mit IEC61400-1 (ed.3, 2005 und Amendment 2010).

In der aktuellen Revision 1 dieser Gutachtlichen Stellungnahme sind die Lastkonfigurationen 4 und 5 mittels Lastvergleich und Strukturanalyse aufgenommen.

4 Beschreibung der Komponente

4.1 Klimatische Bedingungen

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

4.2 Beschreibung der Komponentenparameter

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

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

Die folgenden Varianten des Rotorblattes E-115 EP3-RB-03 wurden geprüft. Die Ausstattung der verschiedenen Varianten ist nachfolgend dargestellt:

Rotorblatt-Nr.	Vortex Generatoren (VGs)	Hinterkantenkamm (Serration)	Blattspitze	Blattbolzen
1	[1.1.8]	[1.1.9]	[1.1.10]	[1.1.7]

Tabelle 4.1: Geprüfte Rotorblattvarianten

Nach [1.1.1] und [1.1.15] hat das Rotorblatt die folgenden Eigenschaften:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:	0,672 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung:	1,048 Hz
Blattlänge:	56,22 m
Blattmasse: (inkl. Bolzen, ohne Heizung):	16545 kg \pm 3,5%
(inkl. Bolzen, mit Heizung):	16815 kg \pm 3,5%

Schwerpunkt (Nabenmitte, ohne Heizung):	18,11 m
(Nabenmitte, mit Heizung):	17,90 m
Statisches Moment (Nabenmitte, ohne Heizung):	299630 kgm
(Nabenmitte, mit Heizung):	300905 kgm
Entwurfslebensdauer:	25 Jahre

Das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 ist für den Betrieb an verschiedenen Konfigurationen vorgesehen:

Nr.	WEA	Geprüfte Blattvariante	Windklasse	Gelände-klasse	Geprüft mit
1	E-115 EP3 E3-ST-67-FB-C-PA	1	DIBt (2012): 4	DIBt (2012): I & II	Struktur-nachweis [1.1.1] und [1.1.3]
2	E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01	1	DIBt (2012): 4	DIBt (2012): I & II	
3	E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA	1	DIBt (2012): 3	DIBt (2012): I & II	
4	E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01	1	DIBt (2012): 3	DIBt (2012): I & II	Strukturnachweis und Lastvergleich [1.1.18] bis [1.1.22]
5	E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01	1	DIBt (2012): 3	DIBt (2012): I & II	

Tabelle 4.2: Abgedeckte Konfigurationen

4.3 Designlasten

Das Rotorblatt wurde ursprünglich mit Designlasten [1.2.1] bemessen. Dieses Dokument beinhaltet lasteinhüllende Extrem- und Ermüdungslasten. Markov Matrizen wurden separat eingereicht. Die Lastannahmen sind in nach der folgenden Tabelle spezifiziert:

Nr.	WEA	Frequenz	Nennleistung	Nabenhöhe	Spezifiziert in	Geprüft in
1	E-115 EP3 E3-ST-67-FB-C-PA	50 / 60 Hz	4,2 MW	67 m	[1.2.1]	Nicht geprüft
2	E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	92 m		[1.2.2]
3	E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA	50 / 60 Hz	4,2 MW	135 m		[1.2.2]
4	E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	122 m	[1.2.3]	[1.2.4]
5	E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01	50 / 60 Hz	4,2 MW	149 m		

Tabelle 4.3: Lastannahmen

In den Lastannahmen wurden die folgenden Eigenschaften angenommen:

1. Eigenfrequenz in Schlagrichtung:	0,693 Hz
1. Eigenfrequenz in Schwenkrichtung	1,078 Hz
Blattmasse:	16526 kg (inkl. Bolzen)
Schwerpunkt (Blattwurzel):	16,34 m (errechnet)
Statisches Moment (Blattwurzel)	270040 kgm (inkl. Bolzen)

Die Betriebslasten basieren auf einer angenommenen Auslegungszeit von 25 Jahren. Die speziellen Annahmen für die Lastberechnung für die verschiedenen Konfigurationen können den entsprechenden Prüfberichten entnommen werden. Sonderereignisse verursacht durch den Transport und Errichtung sind nicht berücksichtigt worden.

4.4 Materialien

Das Rotorblatt wurde mit Materialannahmen für das Laminat, den Kernwerkstoff und den Kleber nach [1.1.12] nachgewiesen. Die metallischen Komponenten der Blattfußverbindung sind in [1.1.3] definiert.

5 Durchgeführte Prüfung

5.1 Prüfmethode

Die Design Basis [1.2.5] wurde in [1.2.6] nach IEC 61400-22 [2.2] geprüft.

Der Nachweis beinhaltet die strukturelle Bewertung des Rotorblattes und des Rotorblattanschlusses (inkl. Verschraubung zum Blattlager). Darüber hinaus wurden die Eigenfrequenzen, die Masse und der Schwerpunkt des Blattes abgeprüft. Die Dokumente [1.1.1] bis [1.1.17] wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität auf Basis der Anforderungen gemäß [2.1] und [2.2] geprüft. Die Restsicherheitsfaktoren werden nicht bestätigt.

Für die Bewertung des Rotorblattes wurde ein eigenständiges Finite-Elemente-Modell aufbauend auf den Zeichnungen und Materialdaten gemäß [1.1.4] und [1.1.5] sowie den in [1.1.11] referenzierten Dokumenten, erstellt, mit dessen Hilfe die Festigkeit des Rotorblattes nachgewiesen wurde.

Für den Nachweis des Blattanschlusses wurde ein separates Finite-Elemente-Modell aufbauend auf der Zeichnung [1.1.6] erzeugt. Die Annahmen zum Blattlager können [1.2.10] und [1.2.11] entnommen werden.

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

Die Auswertung umfasst die strukturelle Analyse des Hinterkantenkammes und der Vortexgeneratoren nach [1.1.1]. Das Rotorblatttheizsystem (siehe [1.1.11]) wurde auf Plausibilität geprüft.

Um die Ergebnisse der Festigkeitsrechnung abzugleichen wurde unter ein statischer Blatttest nach [1.2.7] und [1.2.8] durchgeführt.

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

5.2 Anmerkungen

Der extreme Temperaturbereich nach Kapitel 4.1 wurde für die Bewertung der Materialeigenschaften [1.1.12] herangezogen.

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

Von den in [1.1.11] aufgeführten Dokumenten wurden nur die strukturelevanten Dokumente geprüft und somit nur deren Gültigkeit bestätigt.

5.3 Ergebnisse

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

Der statische Blatttest nach [1.2.7] wurde in [1.2.9] nach IEC 61400-23 [2.5] evaluiert und erfüllt somit auch die Anforderungen nach GL 2010 [2.6].

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

Revision 1

Der Lastvergleich und Strukturnachweis [1.1.18] und die zugehörigen Excel Tabellen [1.1.19] bis [1.1.22] beinhalten den Lastvergleich zwischen den Auslegungslasten [1.2.1] und der Lasteinhängenden inkl. der Lastkonfigurationen 4 und 5 [1.2.3] sowie den Strukturnachweis für die Ermüdungslasten. Neben den Extrem- und Ermüdungslasten werden auch die Testlasten verglichen. Der Lastvergleich zeigt einige Lastüberschreitungen, die in [1.1.18] strukturell nachgewiesen werden. Es wurde demnach gezeigt, dass das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 die Lasten der Lastkonfigurationen 4 und 5 [1.2.3] abtragen kann und dass die aufgebrachten Testlasten gem. [1.2.7] bis [1.2.9] für die Lastkonfigurationen 4 und 5 abdeckend sind.

5.4 Schnittstellen

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

[5.4.1] Eine Vorspannung von Minimum 716,7 kN und Maximum 860 kN für die Schraubverbindung zum Blattlager muss beachtet werden.

6 Auflagen

- 6.1 Die ersten Eigenfrequenzen des nicht-rotierenden Blattes in Schwenk- und Schlagrichtung dürfen nicht mehr als 5% von den in Abschnitt 4.2 angegebenen Werten abweichen.
- 6.2 Die Materialdaten aus [1.1.12] sind durch Materialprüfungen oder Zulassungen zu bewerten. Der angesetzte Temperaturbereich muss bei der Prüfung berücksichtigt werden. Materialwerte (z.B. E-Module) dürfen nicht niedriger sein oder mehr als 10% von den angegebenen Werten abweichen. Für die Herstellung der Laminat sind die aufgeführten Rohmaterialien und Laminierverfahren zu verwenden. Die Rohmaterialien müssen den Anforderungen der GL-Richtlinie [2.6] entsprechen.
- 6.3 Das Rotorblatt muss in einem Werk gefertigt werden, welches die Anforderungen nach [2.6] erfüllt.
- 6.4 Um die Kriechverformung des GFK-Anteils in der vorgespannten Verbindung an der Blattwurzel zu berücksichtigen, muss die Vorspannung der Bolzenverbindung nach 4 Wochen bzw. 300 Betriebsstunden (der kürzere der beiden Zeiträume ist maßgebend) überprüft werden.
- 6.5 Nach höchstens zwei Jahren müssen die Rotorblätter durch einen unabhängigen Sachverständigen für Rotorblätter überprüft werden. Dies kann auf höchstens vier Jahre verlängert werden, wenn durch einen vom Hersteller autorisierten Sachkundigen eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung durchgeführt wird. Falls erforderlich müssen vorhandene Risse oder andere Beschädigungen in der Laminatstruktur bewertet und Reparaturmaßnahmen definiert werden.
- 6.6 Für die laufenden Überwachungen und Wartungen durch den Sachkundigen des Herstellers sind die Prüfungen und deren Umfang im Wartungsprotokoll zu dokumentieren. Es sind mindestens die Blattoberfläche, der Bereich der Flanschverbindung zum Blattlager und die Vorspannung der Bolzen zu überprüfen. Schäden, welche die Integrität der Struktur der Rotorblätter betreffen, müssen der TÜV NORD CERT GmbH gemeldet werden.

7 Schlussfolgerung

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

Es bestehen keine Bedenken das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 an der Windenergieanlage E-115 EP3 E3 mit den in Kapitel 4.3 aufgeführten Konfigurationen zu betreiben.

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

Sachverständige(r):

A handwritten signature in blue ink that reads "Malte Polster".

Dipl.-Ing. M. Polster

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "M. Passow".

Dipl.-Ing. M. Passow

Gutachtliche Stellungnahme

für die Typenprüfung der Windenergieanlagen
ENERCON E-115 EP3 E3

- Maschinenbauliche Komponenten -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-4 D Rev. 1

Anlagenspezifikation: Bezeichnung: ENERCON E-115 EP3 E3
Varianten: siehe Tab. 4.2
Anlagenparameter: siehe Tab. 4.2

Standortspezifikation: Windzone: siehe Tab. 4.2
Geländekategorie: siehe Tab. 4.2

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Prüfumfang: Auslegungsanforderungen für maschinenbauliche
Komponenten gem. DIN EN 61400-1:2011
inkl. deren Verwendung in Windenergieanlagen

Auslegungslasten: Geprüfte Lastannahmen

Dieser Prüfbericht umfasst 26 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige
0	25.11.2019	- Erstausgabe	F. Rodriguez
1	24.11.2020	- Diverse Dokumente und Zeichnungen aktualisiert - Diverse Komponenten-Varianten hinzugefügt - ER Design Basis aktualisiert - Lastannahmen aktualisiert - Bericht Turmkopfflansch aktualisiert - Schnittstelle Azimutlager Schraubverbindungen aktualisiert - Turmbezeichnung WEA-Variante Nr. 2 korrigiert - WEA-Varianten Nr. 3-4 hinzugefügt	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	4
1.1	Geprüfte Dokumente	4
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	10
1.3	Lastannahmen	13
1.4	Zugehörige Prüfberichte.....	13
1.5	Hauptzeichnungen	13
2	Prüfgrundlagen	14
3	Einleitung	14
4	Beschreibung der Windenergieanlage	14
4.1	Anlagenkonzept	14
4.2	Umgebungsbedingungen	14
4.3	Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen	15
4.3.1	Blattlager	15
4.3.2	Blattverstellgetriebe.....	16
4.3.3	Blattarretierung	16
4.3.4	Rotornabe	17
4.3.5	Hauptlagerung	17
4.3.6	Rotorträger.....	18
4.3.7	Achszapfen	18
4.3.8	Achsdeckel.....	18
4.3.9	Rotorarretierung.....	19
4.3.10	Rotorbremse	19
4.3.11	Maschinenträger	19
4.3.12	Generatorstator.....	20

	4.3.13	Generatorrotor	20
	4.3.14	Azimetgetriebe	21
	4.3.15	Azimetlager	21
	4.3.16	Hydrauliksystem.....	22
	4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	23
5		Durchgeführte Prüfungen.....	23
	5.1	Prüfmethoden.....	23
	5.2	Mechanische Komponenten und Antriebe.....	23
	5.3	Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen	24
	5.4	Hinweise und Annahmen	24
	5.5	Prüfergebnis.....	25
	5.6	Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm	25
6		Bedingungen.....	25
7		Schlussfolgerungen	26

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Blattlager

- [1.1.1] Liebherr Components Biberach GmbH:
Prüfunterlagen Blatt Drehverbindung E-115 EP3 E3 - 12889944
Dokument Nr.: p02994-032DJ18-001_Enercon_PiB_E115EP3E3
Rev. -, vom 04.07.2019
- [1.1.2] IMO GmbH & Co. KG:
Slewing Ring Calculation report - 32-36 2998/4-12874
Dokument Nr.: 10000430851
Rev. 08, vom 26.08.2019
- [1.1.3] Liebherr Components Biberach GmbH:
Design Calculation Pitch bearing Wind Turbine Generator Enercon E-115 EP3
E3, 13401303
Dokument Nr.: p02994-032DJ18-
002_eng_Enercon_PiB_E115EP3E3_D0940332-1
Rev. -, vom 01.09.2020

Blattverstellgetriebe

- [1.1.4] Liebherr Components Biberach GmbH:
Calculation pitch gearbox
Dokument Nr.: 2019 / 011-3
Rev. 3, vom 14.11.2019
- [1.1.5] Enercon GmbH:
Nachweis Blattverstellmotor und -bremse E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0732340-2
Rev. 2, vom 21.09.2020
- [1.1.6] Bonfiglioli Trasmital:
Technical Report - Pitch Drive E-115 EP3 E3 - 707 T3N
Dokument Nr.: I20280D_rev1
Rev. 1, vom 15.09.2020

Blattarretierung

- [1.1.7] ENERCON GmbH:
Zertifizierungsunterlagen, Arretierung Rotorblatt für Wartungsfälle, ENERCON
Windenergieanlage EP3, Statik
Dokument Nr.: D0870591-0b
Rev. 0b, vom 11.11.2019

Rotornabe

- [1.1.8] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Rotornabe, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0845128-0
Rev. 0, vom 16.09.2019

Hauptlagerung

- [1.1.9] PSL, a. s. (ThyssenKrupp):
Technical Report - Enercon E-115 EP3 E3, Mainshaft Bearing
Dokument Nr.: 19/11
Rev. 00, vom 18.07.2019
- [1.1.10] SKF GmbH:
Rechnerischer Nachweis zur Zertifizierung Nabenlagerung - Windenergieanlage
Enercon E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: Enercon / E-115 EP3 E3
Rev. R00, vom 23.07.2019
- [1.1.11] Schaeffler Technologies AG & Co. KG:
Technische Dokumentation - Hauptlagerung - Windenergieanlage E115 E3
Dokument Nr.: TD_Enercon_E115 E3_2019-08-12_AA
Rev. AA, vom 12.08.2019
- [1.1.12] SKF GmbH:
Rechnerischer Nachweis zur Zertifizierung Nabenlagerung - Windenergieanlage
Enercon E115 EP3 E3
Dokument Nr.: Enercon / E-115 EP3 E3, Rev. 02, vom 17.08.2020
- [1.1.13] SKF GmbH:
Rechnerischer Nachweis zur Zertifizierung Nabenlagerung - Windenergieanlage
Enercon E115 EP3 E3 Japan
Dokument Nr.: Enercon / E-115 EP3 E3, Rev. R03, vom 17.08.2020
- [1.1.14] Thyssenkrupp rothe erde Slovakia, a.s.:
Technical Report - Enercon E-115 EP3 E3, Mainshaft Bearing Calculation
Dokument Nr.: 20/07, Rev. 01, vom 07.05.2020
- [1.1.15] Thyssenkrupp rothe erde Slovakia, a.s.:
Technical Report - Enercon E-115 EP3 E3 Japan, Mainshaft Bearing
Calculation
Dokument Nr.: 20/23, Rev. 00, vom 03.09.2020

Rotorträger

- [1.1.16] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Rotorträger, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0840109-0
Rev. 0, vom 23.08.2019

Achszapfen

- [1.1.17] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Achszapfen, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0840108-0
Rev. 0, vom 30.07.2019

Achsdeckel

- [1.1.18] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Achsdeckel und Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen, Statik und
Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0859833-0
Rev. 0, vom 15.08.2019

Rotorarretierung

- [1.1.19] ENERCON GmbH:
Nachweis Rotorarretierung E-126 EP3, E-138 EP3 und E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0705527
Rev. 5, vom 25.09.2020

Rotorbremse

- [1.1.20] ENERCON GmbH:
Nachweis Rotorbremse E-126 EP3, E-138 EP3 und E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0669913
Rev. 5, vom 25.09.2020

Maschinenträger

- [1.1.21] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Maschinenträger, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0862748-0
Rev. 0, vom 02.09.2019

Generatorstator

- [1.1.22] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Stator, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0859231-1
Rev. 1, vom 08.10.2019

Generatorrotor

- [1.1.23] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Generatorrotor, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0878492-1
Rev. 1, vom 22.10.2019

Azimutgetriebe

- [1.1.24] Liebherr Components Biberach GmbH:
Calculation Yaw gearbox DAT 400/3446-4000
Dokument Nr.: 2019 / 014 - 5
Rev. 6, vom 14.10.2019
- [1.1.25] Schaeffler:
Berechnung Abtriebslagerung
Dokument Nr.: 2019-10-16_Lagerberechnung_Enercon_E-126_AC12588010.vg2
Rev. -, vom 03.08.2020
- [1.1.26] Bonfiglioli Trasmital:
Technical Report - Yaw Drive E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: I19324D_rev1
Rev. 1, vom 11.08.2020
- [1.1.27] Liebherr Components Biberach GmbH:
Calculation Yaw gearbox DAT 400/3446-4000
Dokument Nr.: 2020-035-1
Rev. -, vom 03.08.2020

Azimutlager

- [1.1.28] Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH:
Technisches Datenblatt Azimutlager E-115 EP3 E3 36887260
Dokument Nr.: 18903_00
Rev. 00, vom 29.08.2019

- [1.1.29] Liebherr Components Biberach GmbH:
Prüfunterlagen Azimutlager Windenergieanlage Enercon E-115 EP3 E3 -
12587508
Dokument Nr.: p03203-070WA18-
001_20190813_ENERCON_YaB_EP115EP3E3_D0743666-1
Rev. -, vom 14.08.2019
- [1.1.30] Liebherr Components Biberach GmbH:
Design Calculation Yaw bearing Wind Turbine Generator Enercon E-
115EP3E3, Id.Nr. 13401289
Dokument Nr.: p03203-070WA18-
003_eng_ENERCON_YaB_EP115EP3E3_D0945559-1a
Rev. -, vom 01.09.2020
- [1.1.31] Liebherr Components Biberach GmbH:
Design Calculation Yaw bearing Wind Turbine Generator Enercon E-115EP3E3
extreme wind - Id.Nr. 13442808
Dokument Nr.: p03203-070WA18-
004_eng_ENERCON_YaB_EP115EP3E3Extremwind_D0990124-0
Rev. -, vom 31.08.2020
- [1.1.32] Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH:
Technical Data Sheet rothe erde Large Diameter Slewing Ring Material No.:
36974980, Yaw Bearing
Dokument Nr.: 19385_01
Rev. 01, vom 08.09.2020
- [1.1.33] TMB Tianma(Chengdu) Precision Machinery Co., Ltd.:
TMB Slewing Bearing Calculation Report - Yaw Bearing Y031.69.3212K
Dokument Nr.: CR2019-11-08/2
Rev. 2, vom 26.08.2020

Azimutarretierung

- [1.1.34] ENERCON GmbH:
Nachweis Azimutmotor und -bremse E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0736032
Rev. 4, vom 10.09.2020

Anschlagpunkte

- [1.1.35] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 / E-
138 EP3 E2 Anschlagpunkte Rotornabe, Statik
Dokument Nr.: D0872445-0
Rev. 0, vom 28.08.2019

- [1.1.36] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Anschlagpunkte am Generatorrotor und Stator, Statik
Dokument Nr.: D0875520-0
Rev. 0, vom 19.09.2019

Schraubverbindungen

- [1.1.37] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Schraubverbindung des Blattflanschlagers, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0867203-1
Rev. 1, vom 10.07.2020
- [1.1.38] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Schraubverbindung Rotornabe – Rotorträger, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0840111-0
Rev. 0, vom 05.08.2019
- [1.1.39] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Schraubverbindung Achszapfen – Statortragstern, Statik und Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0840110-0
Rev. 0, vom 31.07.2019
- [1.1.40] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Schraubverbindung Maschinenträger - Statortragstern, Statik und
Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0856966-1
Rev. 1, vom 08.10.2019
- [1.1.41] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Achsdeckel und Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen, Statik und
Betriebsfestigkeit
Dokument Nr.: D0859833-0
Rev. 0, vom 15.08.2019

Lastvergleich

- [1.1.42] ENERCON GmbH:
ENERCON Wind Energy Converter E-115 EP3 E2 - Load comparison for
Statics and Fatigue - Load loop8+ Japan
Dokument Nr.: D0992967-0
Rev. 0, vom 07.08.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Blattlager

[1.2.1] ENERCON GmbH:
Spezifikation Blattflanschlager E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0696416-3
Rev. 3, vom 03.06.2019

[1.2.2] ENERCON GmbH:
Spezifikation Blattflanschlager E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0940332-1
Rev. 1, vom 29.07.2020

Blattverstellgetriebe

[1.2.3] Enercon GmbH:
"Spezifikation Blattverstellgetriebe E-115 EP3 E3"
Dokument Nr.: D0742425-2
Rev. 2, vom 09.10.2019

[1.2.4] Enercon GmbH:
Spezifikation Blattverstellmotor DC-8.8kW-38x58-FF265-85
Dokument Nr.: D0765315-1
Rev. 1, vom 29.08.2019

Hauptlagerung

[1.2.5] ENERCON GmbH:
Spezifikation Hauptlagerung E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0743508-1
Rev. 1, vom 01.07.2019

[1.2.6] ENERCON GmbH:
Spezifikation Hauptlagerung E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0943202-1, Rev. 1, vom 10.08.2020

[1.2.7] ENERCON GmbH:
Spezifikation Hauptlagerung E-115 EP3 E3 Japan
Dokument Nr.: D0993966-0, Rev. , vom 13.08.2020

Rotorbremse

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

Azimutgetriebe

- [1.2.9] ENERCON GmbH:
Spezifikation Azimutgetriebe E-115 EP3 E3 NC+CC
Dokument Nr.: D0743661-2
Rev. 2, vom 11.08.2020

Azimutlager

- [1.2.10] ENERCON GmbH:
Spezifikation Azimutlager E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0743666-1
Rev. 1, vom 09.08.2019
- [1.2.11] ENERCON GmbH:
Spezifikation Azimutlager E-115 EP3 E3
Dokument Nr.: D0945559-1b
Rev. 1b, vom 08.09.2020
- [1.2.12] ENERCON GmbH:
Spezifikation Azimutlager E-115 EP3 E3 Extremwind
Dokument Nr.: D0990124-0
Rev. 0, vom 29.07.2020

Hydrauliksystem

- [1.2.13] ENERCON GmbH:
Spezifikation - Hydraulikaggregat E-138 EP3
Dokument Nr.: D0748849-1
Rev. 1, vom 10.01.2019
- [1.2.14] HOERBIGER Automatisierungstechnik GmbH:
Technische Dokumentaton – Hydraulik-Kombiaggregat für Rotorbremse und
Rotorarretierung
Dokument Nr.: D0767891-0
Rev. -, vom -

Anschlagpunkte

- [1.2.15] ENERCON GmbH:
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung, Statische
Nachweise
Dokument Nr.: D0448398-1
Rev. 1, vom 10.12.2016

Schraubverbindungen

[1.2.16] ENERCON GmbH:

Datenbank, Schraubenangaben Zusammenstellung
Dokument Nr.: D0415273-2
Rev. 2, vom 28.03.2018

[1.2.17] ENERCON GmbH:

MK 06 005 – 5: Montagevorgaben für Schraubverbindungen im
Maschinenbau
Dokument Nr.: D0204747-5
Rev. 5, vom 24.10.2018

[1.2.18] Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik, IGP:
Experimentelle Untersuchung zur Ermittlung der Haftreibungszahl in der
Trennfuge
Prüfbericht Nr.: P-FH-AGP-1803-014
Rev. 01, vom 16.08.2018

Konstruktionsbasis

[1.2.19] ENERCON GmbH:

Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3
Document-ID: D0832892-1
Rev. 1, vom 04.11.2019

[1.2.20] ENERCON GmbH:

Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen
Dokument Nr.: D0666243-3
Rev. 3, vom 30.07.2018

Spezifikation Sphärogussteile

[1.2.21] ENERCON GmbH:

Spezifikation, MK 02 004 - Qualitätssicherung, Sphärogussteile
Dokument Nr.: D0246506-2
Rev. 2, vom 28.06.2017

Konzept Wöhlerlinien für Gusseisen

[1.2.22] ENERCON GmbH:

Anhang C, Allgemeines zur Betriebsfestigkeitsrechnung für Bauteile aus
Gusseisen
Dokument Nr.: D0166018-3
Rev. 3, vom 05.01.2018

Stellungnahmen

[1.2.23] ENERCON GmbH:

Stellungnahme Abteilung Lastensimulation, Flanschlasten
Dokument Nr.: D0867638-1
Rev. 1, vom 26.09.2019

1.3 Lastannahmen

[1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:

Gutachtliche Stellungnahme Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115 EP3-
RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II - Lastannahmen
für Rotorblatt und Maschinenbau
Bericht Nr.: 8116503696-1 D III
Rev. 2, vom 20.07.2020

1.4 Zugehörige Prüfberichte

[1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:

Evaluation Report Wind Turbine Platform ENERCON E-115 EP3 E3, IEC
61400-22 - Design Basis -
Bericht Nr.: 8116503696-0 E
Rev. 1, vom 25.08.2020

[1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:

Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines, IEC 61400-22 - Design
Basis for Cold Climate conditions -
Bericht Nr.: 8115 599 054-0 E
Rev. 0, vom 09.08.2018

[1.4.3] TÜV NORD CERT GmbH:

Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Rotorblatt E-115 EP3-RB-03, verschiedene Konfigurationen - Turmkopfflansch -
Bericht Nr.: 8116503696-11 D
Rev. 1, vom 31.08.2020

1.5 Hauptzeichnungen

[1.5.1] ENERCON GmbH:

Nacelle view E-115 EP3 E3
Zeichnung Nr.: EP3.00.142-2
Rev. 2, vom 18.12.2018

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):
 Richtlinie für Windenergieanlagen
 Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung
 Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011
 Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen
 (IEC 61400-1:2005 + A1:2010)
 Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010

3 Einleitung

Die in diesem Prüfbericht unter Abschnitt 4.3 gelisteten maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen wurden hinsichtlich ihrer Anforderungen an Auslegung und Gebrauchstauglichkeit für die Verwendung in Windenergieanlagen geprüft.

4 Beschreibung der Windenergieanlage

4.1 Anlagenkonzept

Die technische Spezifikation der Windenergieanlage ist dem Dokument [1.2.19] zu entnehmen. Nachfolgend sind die wichtigsten Kenngrößen aufgeführt:

Antriebskonzept:	Direktantrieb
Auslegungslebensdauer für alle Komponenten:	25 Jahre
Blattarretierung:	Mechanisch, siehe [1.1.7]
Blattverstellsystem:	Verstellgetriebe mit Motor
Windrichtungsnachführung:	Verstellgetriebe mit Motor
Arretierung der Windrichtungsnachführung:	Motorbremsen der Azimutantriebe
Generatortyp:	Synchron
Generatorbezeichnung:	E-115 EP3 E3-GE-01
Generatorhersteller:	Enercon GmbH

4.2 Umgebungsbedingungen

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

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

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

4.3 Geprüfte mechanische Komponenten und Strukturen

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

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

4.3.1 Blattlager

4.3.1.1 *Komponentenspezifikation*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: 12889944
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: ROD02994-032DJ18-001-000,
Rev. 03.2, vom 22.07.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.1.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: IMO GmbH & Co. KG
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: 12874.00.0A.000000
Material: 41CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: 32.362998/4-12874, Rev. A, vom 18.09.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.1.3 *Alternative Komponente*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Dreireihige Rollendrehverbindung
Handelsbezeichnung: 13401303
Material: 41CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: ROD02994-032DJ18-002-000,
Rev. 01.1, vom 16.06.2020
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2 Blattverstellgetriebe

4.3.2.1 Komponentenspezifikation

Hersteller:	Liebherr Components Biberach GmbH
Typ:	Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	DAT 250/3457-3000 (1285 6338* / 1294 0474)
Übersetzung:	176,4
Hauptzeichnung Nr.*:	368 457 2000 99 0, Rev. 03, dated 2019-07-31
Schnittzeichnung Nr.*:	368 457 2000 00 0, Rev. 03, dated 2019-07-12
Hauptzeichnung Nr.:	368 457 2000 99 2, Rev. 00, dated 2019-08-26
Schnittzeichnung Nr.:	368 457 2000 00 2, Rev. 00, dated 2019-08-26
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	368 457 2000 10 0, Rev. 01, dated 2018-12-20
Anzahl der Antriebe je Blatt:	1
Motor:	EMOD GKFB160L/4-220
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.2 Alternative Komponente

Hersteller:	Bonfiglioli Trasmital
Typ:	Dreistufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung:	707 T3N
Produktcode (NC):	JB00009063
Produktcode (CC):	JB00013488
Übersetzung:	173,4
Hauptzeichnung Nr. (NC):	I7070T003600, Rev. -, vom 08.01.2020
Schnittzeichnung Nr. (NC):	A7070T09800, Rev. A, vom 25.09.2020
Hauptzeichnung Nr. (CC):	I7070T04700, Rev. -, vom 31.08.2020
Schnittzeichnung Nr. (CC):	A7070T010000, Rev. -, vom 31.08.2020
Ritzelwelle Zeichnung Nr.:	YP00012041, Rev. -, vom 08.01.2020
Anzahl der Antriebe je Blatt:	1
Motor:	EMOD GKFB160L/4-220
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3 Blattarretierung

4.3.3.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Mechanische Arretierung
Zeichnung Nr.:	EP3.99.055-0, Rev. 0, vom 13.11.2019
Anzahl der Arretierungen:	1
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.4 Rotornabe

4.3.4.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Gussteil
Handelsbezeichnung: Rotornabe EP3-ROH-08
Material: EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.: EP3.01.138-0, Rev. 0, vom 27.04.2020
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5 Hauptlagerung

4.3.5.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: PSL, a.s. (ThyssenKrupp)
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
Nabenseitig
Handelsbezeichnung: PSL612-415
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-415-PV_4, Rev. 4, vom 16.02.2018
Generatorseitig
Handelsbezeichnung: PSL612-416
Hauptzeichnung Nr.: PSL612-416-PV_5, Rev. 5, vom 16.02.2018
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.2 Alternative Komponente

Hersteller: SKF GmbH
Typ: Kegelrollenlager in O-Anordnung
Nabenseitig
Handelsbezeichnung: BT1-8212 A/VK443
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8212 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019
Generatorseitig
Handelsbezeichnung: BT1-8213 A/VK443
Hauptzeichnung Nr.: BT1-8213 A/VK443, Rev. 1, vom 17.01.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.5.3 *Alternative Komponente*

Hersteller:	FAG Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Typ:	Kegelrollenlager in O-Anordnung
<u>Nabenseitig</u>	
Handelsbezeichnung:	F-627880.TR1-WPOS-H113
Hauptzeichnung Nr.:	EDD F-627880.TR1-WPOS 000, Rev. AB, vom 12.03.2018
<u>Generatorseitig</u>	
Handelsbezeichnung:	F-627881.TR1-WPOS-H113
Hauptzeichnung Nr.:	EDD F-627881.TR1-WPOS 000, Rev. AB, vom 12.03.2018
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.6 **Rotorträger**

4.3.6.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Gussteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.01.105-4, Rev. 4, vom 23.04.2020
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.7 **Achszapfen**

4.3.7.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Gussteil
Handelsbezeichnung:	Achszapfen EP3-AP-03
Material:	EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.01.097-0, Rev. 0, vom 22.01.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.8 **Achsdeckel**

4.3.8.1 *Komponentenspezifikation*

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlteil
Material:	C45 (DIN EN 10083)
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.01.059-3, Rev. 3, vom 15.05.2018
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindung Achsdeckel - Achszapfen
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.9 Rotorarretierung

4.3.9.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Stahlbauteil
Material: X20Cr13 + QT800
Arretierbolzen Zeichnung Nr.: EP3.09-198-2, Rev. 2, vom 23.07.2018
Anzahl der Arretierungen: 3
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.10 Rotorbremse

4.3.10.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: KTR Systems GmbH
Typ: Hydraulische Scheibenbremse
Handelsbezeichnung: KTR-STOP YAW L C-70
Hauptzeichnung Nr.: M 802402, Rev. 2, vom 21.07.2020
Anzahl der Bremsen: 3
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.11 Maschinenträger

4.3.11.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: Gussteil
Handelsbezeichnung: Maschinenträger EP3-MC-06
Material: EN-GJS-400-18-LT
Hauptzeichnung Nr.: EP3.03.880-3, Rev. 3, vom 30.06.2020
Verwendung: WEA Variante Nr.1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.12 Generatorstator

4.3.12.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Guss- und Schweißteil
Material:	EN-GJS-400-18-LT / S355 J2+N
Zeichn.-Nr. Tragstern Hälfte:	EP3.02.829-1, Rev. 1, vom 25.01.2019
Zeichn.-Nr. Tragstern Hälfte:	EP3.02.830-1, Rev. 1, vom 25.01.2019
Zeichn.-Nr. Tragarm 12 Uhr:	EP3.02.1108-1, Rev. 1, vom 13.01.2020
Zeichn.-Nr. Tragarm 2 Uhr:	EP3.02.1114-1, Rev. 1, vom 14.01.2020
Zeichn.-Nr. Tragarm 4 Uhr:	EP3.02.1118-1, Rev. 1, vom 14.01.2020
Zeichn.-Nr. Tragarm 6 Uhr:	EP3.02.1119-1, Rev. 1, vom 14.01.2020
Zeichn.-Nr. Tragarm 8 Uhr:	EP3.02.1120-1, Rev. 1, vom 14.01.2020
Zeichn.-Nr. Tragarm 10 Uhr:	EP3.02.1121-1, Rev. 1, vom 13.01.2020
Zeichn.-Nr. Statorring P1:	EP3.02.1006-0, Rev. 0, vom 12.07.2019
Zeichn.-Nr. Statorring P2:	EP3.02.1011-0, Rev. 0, vom 12.07.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.13 Generatorrotor

4.3.13.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Schweißteil
Handelsbezeichnung:	Rotor 780.6356
Material:	S355J2+N (1.0577) (DIN EN 10025)
Zeichn.-Nr. Rotor Mittelteil:	EP3.02.1008-5, Rev. 5, vom 24.07.2020
Zeichn.-Nr. Rotor Seitenteil:	EP3.02.1009-5, Rev. 5, vom 27.07.2020
Zeichn.-Nr. Rotor Seitenteil:	EP3.02.1010-5, Rev. 5, vom 27.07.2020
Hinweis:	Inkl. Schraubverbindung Generatorrotor - Rotorträger
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14 Azimutgetriebe

4.3.14.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: DAT 400/3446 (1258 8010* / 1287 9245)
Übersetzung: 1237,5
Hauptzeichnung Nr.*: 368 446 4000 99 0, Rev. 03.8, vom 31.07.2020
Schnittzeichnung Nr.*: 368 446 4000 00 0, Rev. 08, vom 20.07.2019
Hauptzeichnung Nr.: 368 446 4000 99 1, Rev. 01.2, vom 03.08.2020
Schnittzeichnung Nr.: 368 446 4000 00 1, Rev. 02, vom 08.07.2019
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 368 446 4000 10 0, Rev. 05, vom 27.09.2019
Anzahl der Antriebe: 12
Motoren: Nidec / 4P LS 112MG 4kW IFT/NIE V1 ID300-34119
FFB 45N.m
Getriebebau NORD / 112MH/4 BRE60 PT1000
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.14.2 Alternative Komponente

Hersteller: Bonfiglioli Trasmital
Typ: Vierstufiges Planetengetriebe
Handelsbezeichnung: 711 T4F
Produktcode: 2T100142860
Übersetzung: 1247
Hauptzeichnung Nr.: I7110T003400, Rev. B, vom 20.12.2018
Schnittzeichnung Nr.: A7110T010500, Rev. B, vom 20.12.2018
Ritzelwelle Zeichnung Nr.: 6630082099, Rev. A, vom 17.07.2018
Anzahl der Antriebe: 12
Motoren: Nidec / 4P LS 112MG 4kW IFT/NIE V1 ID300-34119
FFB 45N.m
Getriebebau NORD / 112MH/4 BRE60 PT1000
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.15 Azimutlager

4.3.15.1 Komponentenspezifikation

Hersteller: Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 36887260
Material: 42CrMo4 V/Q+T
Hauptzeichnung Nr.: 091.70.3202.011.48.150D, Rev. A, vom 19.06.2018
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.15.2 *Alternative Komponente*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 12587508
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: KUD03203-070WA18-001-900,
Rev. 02.3, vom 15.07.2019
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2 (siehe Table 4.2)

4.3.15.3 *Alternative Komponente*

Hersteller: Liebherr Components Biberach GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 13401289
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: KUD03203-070WA18-003-000,
Rev. 01.1, vom 16.06.2020
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Table 4.2)

4.3.15.4 *Alternative Komponente*

Hersteller: Thyssenkrupp Rothe Erde GmbH
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: 36974980
Material: 42CrMo4 V/Q+T
Hauptzeichnung Nr.: 091.70.3202.020.48.150D, Rev. A, vom 10.09.2020
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Table 4.2)

4.3.15.5 *Alternative Komponente*

Hersteller: TMB Tianma(Chengu) Precision Machinery Co., Ltd.
Typ: Doppelreihige Kugeldrehverbindung
Handelsbezeichnung: Y031.69.3212K
Material: 42CrMo4+QT
Hauptzeichnung Nr.: Y031.69.3212K, Rev. 1, vom 16.09.2020
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Table 4.2)

4.3.16 Hydrauliksystem

4.3.16.1 *Komponentenspezifikation*

Hersteller: HOERBIGER Automatisierungstechnik GmbH
Handelsbezeichnung: HB14122-601A
Hauptzeichnung Nr.: HB14122-100A, Rev. -, vom 27.08.2018
Schaltplan Nr.: HB14122-601A, Rev. -, vom 23.05.2018
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-4 (siehe Tabelle 4.2)

4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

Die Eignung der maschinenbaulichen Komponenten wurde für die in Tabelle 4.2 gelisteten Windenergieanlagen geprüft. Hierfür wurden die vom Hersteller ENERCON GmbH eingereichten Prüfunterlagen zugrunde gelegt. Für die dort aufgeführten Anlagenkonfigurationen liegen geprüfte Lastannahmen vor, die im Detail dem Dokument unter Punkt 1.3 zu entnehmen sind.

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe	DIBt Windzone	Geländekategorie
1	E-115 EP3 E3	≤ 4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	92 m (E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01)	WZ 4	GK I&II
2	E-115 EP3 E3	≤ 4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01)	WZ 3	GK I&II
3	E-115 EP3 E3	≤ 4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	NH 122 m (E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01)	WZ 3	GK I&II
4	E-115 EP3 E3	≤ 4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	NH 149 m (E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01)	WZ S	GK I&II

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethoden

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Inhalt geprüft und bezüglich der Nachweismethoden und der Berechnungsgrundlagen bewertet. Dabei wurden die erforderlichen Sicherheiten und Spannungsreserven berücksichtigt. Die Prüfung erfolgte anhand von Spezifikationen, Berechnungsunterlagen und Zeichnungen, sowie zugehörigen Prüfberichten.

Die Beurteilung der statischen und betriebsfesten Auslegung der maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen basiert auf den Anforderungen der Prüfgrundlagen. Die vorgelegten Prüfunterlagen wurden auf der Grundlage von Plausibilitätsprüfungen oder Vergleichsrechnungen unter Anwendung von analytischen oder numerischen Berechnungsmethoden bewertet.

5.2 Mechanische Komponenten und Antriebe

Die Tragfähigkeit der Kugeldrehverbindungen wurde auf der Grundlage von Hertz'schen Pressungen geprüft. Die maximalen Kontaktspannungen unter den Lastkombinationen von Axiallast, Radiallast und Kippmoment wurden mit den zulässigen Werten verglichen.

Die Lebensdauerberechnungen für die in den Antrieben verwendeten Wälzlager berücksichtigen die erforderlichen Eingangsparameter und vorhandenen Betriebsbedingungen und entsprechen dem internationalen Standard ISO 281 bzw. ISO/TS 16281.

Die Tragfähigkeit von Verzahnungen wurde unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestsicherheiten gegen Grübchenbildung und Zahnfußbruch nach dem internationalen Standard ISO 6336 geprüft.

Die statische und betriebsfeste Auslegung der Wellen wurde in Anlehnung an DIN 743, unter Beachtung festigkeitsrelevanter Einflüsse, wie Kerbwirkungen geprüft.

Alle weiteren lastübertragenden mechanischen Komponenten wurden hinsichtlich ihrer statischen und betriebsfesten Auslegung auf der Grundlage der Zertifizierungsanforderungen und dem Stand der Technik geprüft.

5.3 Haupttragende Strukturen und Schraubenverbindungen

Die Bewertung der haupttragenden Strukturen bezieht sich auf Auslegungsnachweise wie Rotornabe, Maschinenträger, Achszapfen, Rotorträger, Generatorrotor und Generatorstator inkl. der Schraubverbindungen zu den Anschlusskonstruktionen.

Bei Finite-Elemente-Berechnungen wurden Geometrie, Vernetzung, Elementauswahl und Randbedingungen geprüft. Die Bewertung der FE-Ergebnisse erfolgte über Vergleichsrechnungen oder Plausibilitätsprüfungen.

Schädigungsrechnungen erfolgten auf der Grundlage synthetischer Wöhlerkurven. Der Mittelspannungseinfluss und abmindernde Einflüsse auf die Schwingfestigkeit wurden berücksichtigt.

Die Festigkeit hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurde mit analytischen Methoden in Anlehnung an VDI 2230 Blatt 1 (2015) geprüft. Die Vergleichsrechnungen berücksichtigen dabei die auslegungsrelevanten Berechnungsgrößen wie Montagevorspannkraft, Krafteinleitung und Anziehungsfaktor.

Die Festigkeit einiger hochbeanspruchter Schraubenverbindungen wurden auf der Grundlage von FEM Analysen anhand detaillierter FE Modelle geprüft. Die Vorspannung der Schrauben sowie der Einfluss der Anschlusskonstruktionen wurden dabei in ausreichender Weise berücksichtigt.

5.4 Hinweise und Annahmen

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für maschinenbauliche Komponenten und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Die Prüfung erfolgte im Wesentlichen durch Vergleichsrechnung. Soweit die Abweichungen keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurden sie in der geprüften Unterlage nicht korrigiert. Schreib-, Übertragungs- und unbedeutende Fehler ohne Einfluss auf die Auslegung wurden in der geprüften Unterlage nicht korrigiert.

5.5 Prüfergebnis

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei Extrem- und Betriebslasten vorhanden sind.

5.6 Schnittstellen zum Rotorblatt und Turm

Schraubverbindung Blattlager / Blattadapter: Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung

Schraubverbindung Azimutlager zum Turmkopfflansch und Maschinenträger: Geprüft mit Turmkopfflansch, siehe [1.4.3]

Turmkopfflansch: Nicht Bestandteil der maschinenbaulichen Prüfung

6 Bedingungen

6.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.

7 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieses Gutachtens geprüften maschinenbaulichen Komponenten und Strukturen erfüllen die Anforderungen der Prüfgrundlagen in Bezug auf Tragfähigkeit und Auslegung für die zugrunde gelegten Annahmen, unter Beachtung der geforderten Lebensdauer von 25 Jahren.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

Die unter Punkt 5.4 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 6 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Betrieb der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Der Sachverständige:

A handwritten signature in blue ink that reads "R. Sommerfeld".

M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:

A handwritten signature in blue ink that reads "Ch. Neuhaus".

Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. C. Burges

Gutachtliche Stellungnahme

**für die Typenprüfung der Windenergieanlage
ENERCON E-115 EP3 E3 und E-138 EP3 E2**

- Verkleidungen & Strukturen -

TÜV NORD Bericht Nr.: 8116503696-12 D Rev. 2

Anlagenspezifikation: Bezeichnung: E-115 EP3 E3
E-138 EP3 E2

Standortspezifikation: Windzone: Siehe Tab. 4.2
Geländekategorie: Siehe Tab. 4.2

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Prüfumfang: Auslegungsanforderungen für Verkleidungen und
Strukturen gem. DIN EN 61400-1:2011

Dieser Prüfbericht umfasst 13 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Sachverständige/r
0	19.11.2019	Erstausgabe	Dr.-Ing. Y. Ou
1	20.03.2020	- Generator Stator Verkleidung hinzugefügt - Lastbericht aktualisiert	C. Burges
2	27.11.2020	- ER Design Basis aktualisiert - Dokument zur Maschinenhausverkleidung aktualisiert - Turmbezeichnung WEA Variante 2 korrigiert - WEA Varianten 9-11 hinzugefügt	R. Sommerfeld

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	4
1.3	Lastannahmen	5
1.4	Zugehörige Prüfberichte.....	6
2	Prüfgrundlagen	6
3	Einleitung	7
4	Beschreibung der Windenergieanlagen	7
4.1	Anlagenkonzept	7
4.2	Umgebungsbedingungen	7
4.3	Geprüfte Verkleidungen und Strukturen	7
4.3.1	Maschinenhausverkleidung.....	7
4.3.2	Generatorverkleidung.....	8
4.3.3	Gondelbühne	9
4.3.4	Dachmodul.....	9
4.4	Verwendung in Windenergieanlagen.....	10
5	Durchgeführte Prüfungen.....	11
5.1	Prüfmethoden.....	11
5.2	Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen.....	11
5.3	Hinweise und Annahmen	11
5.4	Prüfergebnis.....	12
6	Bedingungen.....	12
7	Schlussfolgerungen	13

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Maschinenhausverkleidung

- [1.1.1] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 und
E-138 EP3 E2, Maschinenhausverkleidung, Statischer Nachweis
Dokument Nr.: D0860931-0a
Rev. 0a, vom 14.05.2020

Generatorverkleidung

- [1.1.2] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Generatorverkleidung, Statischer Nachweis
Dokument Nr.: D0872400-0
Rev. 0, vom 18.09.2019

- [1.1.3] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2,
Generatorverkleidung, Statischer Nachweis
Dokument Nr.: D0852098-0
Rev. 0, vom 25.07.2019

- [1.1.4] ENERCON GmbH:
"Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3
Generatorverkleidung Containerfähig - Statischer Nachweis"
Dokument Nr.: D0902975-0b
Rev. 0b, vom 16.03.2020

Gondelbühne

- [1.1.5] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Gondelbühne, Statik
Dokument Nr.: D0856173-0
Rev. 0, vom 23.08.2019

Dachmodul

- [1.1.6] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON EP3 Plattform (E-115 EP3 E3, E-126
EP3, E-138 EP3 & E-138 EP3 E2), Dachmodul, Statik
Dokument Nr.: D0850499-0
Rev. 0, vom 22.08.2019

Anschlagpunkte

- [1.1.7] ENERCON GmbH:
Nachweis zur Zertifizierung, ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Anschlagpunkte Gondelbühne, Statik
Dokument Nr.: D0862347-0
Rev. 0, vom 23.08.2019

Lastvergleich

- [1.1.8] ENERCON GmbH:
ENERCON Wind Energy Converter E-115 EP3 E2 - Load comparison for
Statics and Fatigue - Load loop8+ Japan
Dokument Nr.: D0992967-0
Rev. 0, vom 07.08.2020
- [1.1.9] ENERCON GmbH:
ENERCON Wind Energy Converter E -138 EP3 E2 - Load comparison for
Statics and Fatigue - Load loop 12+
Dokument Nr.: D0996749-0, Rev. 0, vom 20.08.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Design Basis

- [1.2.1] ENERCON GmbH:
Design Basis
"Konstruktionsbasis E-115 EP3 E3"
Dokument Nr.: D0832892-1
Rev. 1, vom 04.11.2019
- [1.2.2] ENERCON GmbH:
Design Basis
"Konstruktionsbasis E-138 EP3 E2"
Dokument Nr.: D0765798-1a
Rev. 1a, vom 12.09 2019
- [1.2.3] ENERCON GmbH:
Design Basis
"Konstruktionsbasis Cold Climate Anlagen"
Dokument Nr.: D0666243-3
Rev. 3, dated 2018-07-30

Materialspezifikationen

- [1.2.4] ENERCON GmbH:
Spezifikation Materialdaten für GFK Verkleidungskomponenten
Dokument Nr.: D0689349-3
Rev. 3, vom 15.08.2019

- [1.2.5] ENERCON GmbH:
Spezifikation für glasfaserverstärkte Verkleidungen von ENERCON WEA
Dokument Nr.: D0687898-3
Rev. 3, vom 05.08.2019

Anschlagpunkte

- [1.2.6] ENERCON GmbH:
Bemessungsgrundlage für Anschlagpunkte zur Personensicherung, Statischer
Nachweis
Dokument Nr.: D0448398-1
Rev. 1, vom 10.12.2016

Stellungnahmen

- [1.2.7] ENERCON GmbH:
Stellungnahme Abteilung Lastensimulation - Frequenzvergleich
Dokument Nr.: D0871819-1a
Rev. 1a, vom 07.11.2019
- [1.2.8] ENERCON GmbH:
Frequenzvergleich; E-138 EP3 E2 HT-149-ES-C-01 mit E138 EP3 E2 HT-149-
ES-C-02
Dokument Nr.: D0871492
Rev. 0, vom 17.09.2019

1.3 Lastannahmen

- [1.3.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-115 EP3 E3, RB E-115
EP3-RB-03, verschiedene NH, DIBt verschiedene WZ mit GK I&II
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8116503696-1 D III
Rev. 2, vom 20.07.2020
- [1.3.2] TÜV NORD CERT GmbH:
Gutachtliche Stellungnahme – Windenergieanlage E-138 EP3 E2, RB E-138
EP3-RB-02, verschiedene NH, DIBt WZ 2 GK II
- Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau -
Bericht Nr.: 8117142915-1 D VI
Rev. 2, vom 23.11.2020

1.4 Zugehörige Prüfberichte

- [1.4.1] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report – Wind Turbines ENERCON E-115 EP3 E3, IEC 61400-22 -
Design Basis -
Bericht Nr.: 8116503696-0 E
Rev. 1, vom 25.08.2020
- [1.4.2] TÜV NORD CERT GmbH:
Evaluation Report – Wind Turbines ENERCON E-138 EP3 E2, IECRE OD 501,
IEC 61400-22 - Design Basis -
Bericht Nr.: 8117142915-0 E
Rev. 0, vom 12.09.2019
- [1.4.3] TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG:
Evaluation Report – div. ENERCON Wind Turbines,
IEC 61400-22 - Design Basis for Cold Climate conditions -
Bericht Nr.: 8115 599 054-0 E
Rev. 0, vom 09.08.2018

2 Prüfgrundlagen

- [2.1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):
Richtlinie für Windenergieanlagen
Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung
Stand: Oktober 2012 – Korrigierte Fassung März 2015
- [2.2] DIN EN 61400-1:2011
Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen
(IEC 61400-1:2005 + A1:2010)
Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010
- [2.3] DIN EN 61400-22:2011
Windenergieanlagen - Teil 22:
Konformitätsprüfung und Zertifizierung (IEC 61400-22:2010)
Deutsche Fassung EN 61400-22:2011
- [2.4] Germanischer Lloyd:
Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen
IV – Teil 1, Ausgabe 2010
- [2.5] DIN Deutsches Institut für Normung e. V:
Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion,
Betrieb und Wartung
Deutsche Fassung EN 50308:2004 + DIN EN 50308 Berichtigung 1:2008
alt. VDE 0127-100 + VDE 0127-100 Berichtigung:2011

3 Einleitung

Die in diesem Prüfbericht unter Abschnitt 4.3 gelisteten Verkleidungen und Strukturen wurden hinsichtlich ihrer Anforderungen an Auslegung und Gebrauchstauglichkeit für die Verwendung in Windenergieanlagen geprüft.

4 Beschreibung der Windenergieanlagen

4.1 Anlagenkonzept

Die technischen Spezifikationen der Windenergieanlagen sind den Dokumenten [1.2.1] - [1.2.3] zu entnehmen. Prüfergebnisse und Anmerkungen zur Spezifikation sind in den Berichten [1.4.1] - [1.4.3] dokumentiert.

4.2 Umgebungsbedingungen

Die Verkleidungen und Strukturen wurden für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Umgebungstemperaturen geprüft.

Bedingung	Temperaturbereich Betrieb	Temperaturbereich Extrem
Normales und kaltes Klima	-40 °C < t < +40 °C	-40 °C < t < +50 °C

Tabelle 4.1: Temperaturbereiche

4.3 Geprüfte Verkleidungen und Strukturen

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

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

4.3.1 Maschinenhausverkleidung

4.3.1.1 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
 Typ: GFK-Struktur
 Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
 Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860520-0, Rev. 0, vom 24.10.2019
 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]
 Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
 Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.1.2 Komponentenspezifikation

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0858989-1, Rev. 1, vom 07.11.2019
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.1]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 3-9 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2 Generatorverkleidung

4.3.2.1 Komponentenspezifikation (Rotor & Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0860520-0, Rev. 0, vom 24.10.2019
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.2]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.2 Komponentenspezifikation (Rotor & Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Hauptzeichnung Nr.: D0858989-1, Rev. 1, vom 07.11.2019
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.3]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 54.54 m/s (diese entspricht $V_{ref}=38.96$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 3-9 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.2.3 Komponentenspezifikation (Stator Verkleidung)

Auslegung: ENERCON GmbH
Typ: GFK-Struktur
Material: siehe Spezifikation [1.2.4]
Zeichnungsübersicht: Dok.-Nr. D0938784-0, Rev. 0, vom 17.03.2020
Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.4]
Auslegungswindgeschwin. V_{e50} : 70 m/s (diese entspricht $V_{ref}=50$ m/s)
Verwendung: WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3 Gondelbühne

4.3.3.1 Komponentenspezifikation E-115 EP3 E3

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR / S355JR
Zeichnungsübersicht:	Dok.-Nr. D0860518-0, Rev. 0, vom 20.08.2019 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]
Hinweis:	Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit $V_{e50}=70$ m/s in Nabenhöhe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-2, 10-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.3.2 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S235JR / S355JR
Zeichnungsübersicht:	Dok.-Nr. D0858516-0, Rev. 0, vom 28.08.2019 Revisionsstände der Einzelteilzeichnungen siehe [1.1.5]
Hinweis:	Berücksichtigung der von Maschinenhausverkleidung übertragenden 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit $V_{e50}=70$ m/s in Nabenhöhe
Verwendung:	WEA Variante Nr. 3-9 (siehe Tabelle 4.2)

4.3.4 Dachmodul

4.3.4.1 Komponentenspezifikation

Auslegung:	ENERCON GmbH
Typ:	Stahlstruktur
Material:	S355J2
Hauptzeichnung Nr.:	EP3.03.862-2, Rev. 2, vom 14.08.2019
Verwendung:	WEA Variante Nr. 1-11 (siehe Tabelle 4.2)

4.4 Verwendung in Windenergieanlagen

Die Eignung der Verkleidungen und Strukturen wurde für die in Tabelle 4.2 gelisteten Windenergieanlagen geprüft. Hierfür wurden die vom Hersteller ENERCON GmbH eingereichten Prüfunterlagen zugrunde gelegt. Für die dort aufgeführten Anlagenkonfigurationen liegen geprüfte Lastannahmen vor, die im Detail den Dokumenten unter Punkt 1.3 zu entnehmen sind.

Variante Nr.	WEA Bezeichnung	Max. Nennleistung	Rotorblatt	Nabenhöhe (Turm)	DIBt 2012	V _{ref} * m/s	Lastbericht
1	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	92 m (E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01)	WZ 4, GK I&II	45.13	[1.3.1]
2	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	135 m (E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-01)	WZ 4, GK I&II	43.33	[1.3.1]
3	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	111 m (E-138 EP3 E2-ST-111-FB-C-01)	WZ S, GK II	36.69	[1.3.2]
4	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-01)	WZ 2, GK II	38.52	[1.3.2]
5	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	149 m (E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02)	WZ 2, GK II	38.52	-
6	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-01)	WZ S, GK II	37.69	[1.3.2]
7	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-ST-131-FB-C-02)	WZ S, GK II	37.69	[1.3.2]
8	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	160 m (E-138 EP3 E2-HT-160-ES-C-01)	WZ 2, GK II	38.96	[1.3.2]
9	E-138 EP3 E2	4.2 MW	E-138 EP3-RB-02	131 m (E-138 EP3 E2-HST-131-FB-C-01)	WZ 2, GK II	37.69	[1.3.2]
10	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	NH 122 m (E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01)	WZ 3, GK I&II	42.77	[1.3.1]
11	E-115 EP3 E3	4.2 MW	E-115 EP3-RB-03	NH 149 m (E-115 EP3 E3-HST-149-FB-C-01)	WZ S, GK I&II	43.85	[1.3.1]

*V_{ref} – Bezugswindgeschwindigkeit

Tabelle 4.2: Anlagenvarianten

5 Durchgeführte Prüfungen

5.1 Prüfmethoden

Die eingereichten Unterlagen wurden auf Vollständigkeit und Inhalt geprüft und bezüglich der Nachweismethoden und der Berechnungsgrundlagen bewertet. Dabei wurden die erforderlichen Sicherheiten und Spannungsreserven berücksichtigt. Die Prüfung erfolgte anhand von Spezifikationen, Berechnungsunterlagen und Zeichnungen, sowie zugehörigen Prüfberichten.

Die Beurteilung der statischen Auslegung der Verkleidungen und Strukturen basiert auf den Anforderungen der Prüfgrundlagen. Die vorgelegten Prüfunterlagen wurden auf der Grundlage von Plausibilitätsprüfungen oder Vergleichsrechnungen unter Anwendung von analytischen oder numerischen Berechnungsmethoden bewertet.

5.2 Verkleidungen, Strukturen und Schraubenverbindungen

Bei Finite-Elemente-Berechnungen wurden Geometrie, Vernetzung, Elementauswahl und Randbedingungen geprüft. Die Bewertung der FE-Ergebnisse erfolgte über Vergleichsrechnungen oder Plausibilitätsprüfungen.

Die Festigkeit der Schraubenverbindungen wurde auf Grundlage von Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005) geprüft. Dabei wurden die unterschiedlichen Versagensarten für die maßgeblichen Verbindungen gemäß Tabelle 3.4 berücksichtigt. Die Lasten der maßgeblichen Verbindungen bestimmten sich dabei aus den zugehörigen Finite-Elemente-Analysen.

Die Tragfähigkeit der Maschinenhaus- und Generatorverkleidung wurde auf der Grundlage der GL-Richtlinie für Windenergieanlagen, Ausgabe 2010, geprüft. Hierbei wurden die Einwirkungen auf die Struktur sowie die Materialkennwerte für faserverstärkte Kunststoffe (FVK) berücksichtigt.

Die Lastannahmen für die Strukturnachweise von Maschinenhaus- und Generatorverkleidung wurden für ständige und veränderliche Einwirkung gemäß den geltenden Richtlinien überprüft. Die speziellen Materialeigenschaften für glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) wurden dabei gesondert berücksichtigt. Der Prüfumfang beinhaltet zudem alle relevanten Befestigungen zu den primären Strukturbauteilen sowie zu Anbauten und Anschlagpunkten.

5.3 Hinweise und Annahmen

Grundlage für Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen sind im Allgemeinen die Angaben des Herstellers und Zulieferers. Daher wird vorausgesetzt, dass die angegebenen Spezifikationen für Verkleidungen und Strukturen eingehalten sowie Fertigungstoleranzen und Werkstoffqualitäten erreicht werden.

Die Prüfung erfolgte im Wesentlichen durch Vergleichsrechnung. Soweit die Abweichungen keinen Einfluss auf die Konstruktion haben, wurden sie in der geprüften Unterlage nicht korrigiert. Schreib-, Übertragungs- und unbedeutende Fehler ohne Einfluss auf die Auslegung wurden in der geprüften Unterlage nicht korrigiert

5.4 Prüfergebnis

Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen der Festigkeitsnachweise haben ergeben, dass ausreichende Sicherheiten und Spannungsreserven bei den aufgetragenen Einwirkungen vorhanden sind.

6 Bedingungen

- 6.1 Um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Komponenten sicherzustellen, sind die Anweisungen der Komponentenhersteller hinsichtlich Montage und Instandhaltung zu beachten.
- 6.2 Für jede Art von Hebezeugen und integrierten Kränen gelten die nationalen Anforderungen der jeweiligen Maschinenrichtlinie unter Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschrift (DGUV).

7 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieses Gutachtens geprüften Verkleidungen und Strukturen erfüllen die Anforderungen der Prüfgrundlagen in Bezug auf Tragfähigkeit und Auslegung für die zugrunde gelegten Annahmen.

Alle für die Prüfung erforderlichen Unterlagen sind vollständig, es gibt keine ausstehenden Nachweise.

Die unter Punkt 5.3 aufgeführten Hinweise und Annahmen sind zu beachten.

Unter Einhaltung der unter Punkt 6 genannten Bedingungen bestehen gegen die Auslegung und den Einsatz der Komponenten, sowie deren Verwendung in Windenergieanlagen gem. Tabelle 4.2, keine Bedenken.

Änderungen in der Konstruktion müssen von der Zertifizierungsstelle Windenergie zugelassen werden. Anderenfalls verliert diese Gutachtliche Stellungnahme ihre Gültigkeit.

Der Sachverständige:

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

M.Eng. R. Sommerfeld

Freigegeben:

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

Dr.-Ing. Ch. Neuhaus

An der Prüfung beteiligte Sachverständige:

M.Eng. C. Burges

Gutachtliche Stellungnahme

für die Windenergieanlage E-115 EP3 E3,
Rotorblatt E-115 EP3-RB-03, verschiedene Konfigurationen

- Turmkopfflansch -

TÜV NORD Bericht-Nr.: 8116 503 696-11 D Rev. 1

Gegenstand der Stellungnahme: a) Turmkopfflanschbaugruppe gemäß DIBt Richtlinie (Fassung Oktober 2012)
b) Numerisch bestimmte Übertragungsfunktionen für den Kopfflansch

Anlagenhersteller: ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich
Deutschland

Die Gutachtliche Stellungnahme umfasst 10 Seiten.

Revision	Datum	Änderungen	Prüfer
0	11.11.2019	Erstausgabe	C. Fischer
1	31.08.2020	<ul style="list-style-type: none"> • Lastvergleich [1.1.2] und zugehörige Lasten [1.2.3] hinzugefügt • Nachweis für alternatives Design [1.1.3] und Zeichnungen [1.1.5], [1.2.8] und [1.2.9] hinzugefügt • Nachweis für aktualisiertes Seriendesign [1.2.12] und [1.2.13] sowie zugehörige Lasten [1.2.4] hinzugefügt; [1.1.4] aktualisiert • Redaktionelle Änderungen • alternatives Azimutlager für Seriendesign [1.2.7] 	C. Fischer

Inhaltsverzeichnis

1	Dokumente	3
1.1	Geprüfte Dokumente	3
1.2	Dazugehörige Dokumente.....	3
2	Prüfgrundlagen	5
3	Einleitung	6
4	Beschreibung	6
4.1	Turmkopfflansch.....	6
4.2	Lastannahmen	6
4.3	Baustoffe	7
5	Prüfung	8
5.1	Umfang und Methodik	8
5.2	Anmerkungen zur Prüfung	8
5.3	Ergebnis	9
5.4	Schnittstelle	9
6	Auflagen.....	9
7	Zusammenfassung	9

1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Statische Berechnungen für initiales Seriendesign

[1.1.1] ENERCON GmbH:

„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 Schraubverbindungen des Azimutlagers und Turmkopfflansch Statik und Betriebsfestigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IA/IIA/S, Normal Climate DIBt 2012, WZ 3/4, GK I/II“

Dokument Nr.: D0870631-0, Rev. 0, Datum: 13.09.2019

Nachweis des Seriendesigns für Lastschleife „8+ Japan“

[1.1.2] ENERCON GmbH:

„Certification Report ENERCON Wind Energy Converter E-115 EP3 E3 Tower head flange and bolted joint at yaw bearing Load comparison for Statics and Fatigue Load loop8+ Japan Loads according to: DIBt 2012 and IEC 61400-1 edition 3“

Dokument Nr.: D0992982-0a, Rev. 0a, Datum: 14.08.2020

Statische Berechnungen für alternatives Design

[1.1.3] ENERCON GmbH:

„Verification for certification ENERCON E-115 EP3 E3 Japan wind energy converter Yaw bearing and tower head flange bolt connections Statics and fatigue strength for loads according to: Load loop8 + Japan DIBt 2012 and IEC 61400-1 edition 3“

Dokument Nr.: D0996789-0, Rev. 0, Datum: 19.08.2020

Anlagen

[1.1.4] ENERCON GmbH:

Seriendesign; Zeichnung „Flansch Turmkopfflansch Spezifikation“, Zeichnungs-Nr.: 115.03.003-4, Rev. 4, Datum: 20.04.2020

[1.1.5] ENERCON GmbH:

Alternative; Zeichnung „flange tower head flange specification“ Drawing-Nr.: EP3.05.005-0, Rev. 0, Datum: 19.06.2020

1.2 Dazugehörige Dokumente

Lastannahmen für statische Berechnungen des Kopfflansches

[1.2.1] ENERCON GmbH:

„Zertifizierungsunterlagen ENERCON Windenergieanlage E-115 EP3 E3 Lastannahmen für maschinenbauliche Nachweise“

Dokument Nr.: D0838621-1, Rev. 1, Datum: 23.07.2019

Lastannahmen für Rotorblatt und Maschinenbau

[1.2.2] ENERCON GmbH:

„Lastenbericht Maschinenbau E-115 EP3 E3 Abdeckende Betriebs- und Extremlasten für den Maschinenbau E-115 EP3 E3 mit dem Rotorblatt E-115 EP3-RB-03 nach DIBt und IEC“

Dokument Nr.: D0838784-0a, Rev. 0a, Datum 17.07.2019

Lastannahmen für Lastschleife „8+ Japan“

[1.2.3] ENERCON GmbH:

„Load report Machine E-115 EP3 E3 Envelope of fatigue and extreme loads for the E 115 EP3 E3 with the rotor blade E-115 EP3-RB-03 as per DIBt and IEC“

Dokument Nr.: D0942936-1, Rev. 1, Datum: 31.07.2020

Lastannahmen für den Nachweis des angepassten Seriendesigns (Rev. 4)

[1.2.4] ENERCON GmbH:

„Zertifizierungsunterlagen ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Lastannahmen für maschinenbauliche Nachweise“

Dokument Nr.: D0833103-2, Rev. 2, Datum: 01.08.2019

Zeichnungen zur Turmkopfbaugruppe (Seriendesign)

[1.2.5] ENERCON GmbH:

„Azimutlager Ø3347 Ø3059 m18 z195 x0.5“

Zeichnungs-Nr.: EP3.03.422-1, Rev. 1, Datum: 09.02.2018

[1.2.6] ENERCON GmbH:

„Maschinenträger EP3-MC-06“

Zeichnungs-Nr.: EP3.03.880-2, Rev. 0, Datum: 24.06.2019

[1.2.7] ENERCON GmbH:

„Azimutlager 2KD-m18-z195a-b182“

Drawing-Nr.: EP3.03.986-0, Rev. 0, Datum: 19.06.2020

Zeichnungen zur Turmkopfbaugruppe (Alternative)

[1.2.8] ENERCON GmbH:

„Azimutlager 2KD-m18-z195a-b182“

Drawing-Nr.: EP3.03.986-0, Rev. 0, Datum: 19.06.2020

[1.2.9] ENERCON GmbH:

„main carrier EP3-MC-06“

Drawing-Nr.: EP3.03.880-2, Rev. 0, Datum: 24.06.2019

Statische Berechnungen hinsichtlich Bruchzähigkeit

[1.2.10] ENERCON GmbH:

„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-126 EP3 Schraubverbindungen des Azimutlagers Turmkopfflansch Statik und Betriebsfestigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 3/4, GK I & II“,
Dokument Nr.: D0664633-2, Rev. 2, Datum: 08.01.2019

[1.2.11] TÜV NORD CERT GmbH:

„Gutachtliche Stellungnahme für die Windenergieanlage E-126 EP3 verschiedene Konfigurationen - Turmkopfflansch -“,
TÜV NORD Bericht-Nr.: 8115 022 604 - 11 D Rev. 2, Datum: 07.02.2019

Statische Berechnungen des angepassten Seriendesigns (in Rev. 4)

[1.2.12] ENERCON GmbH:

„Nachweis zur Zertifizierung ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E2 Schraubverbindungen des Azimutlagers und Turmkopfflansch Statik und Betriebsfestigkeit für Lasten nach: IEC 3, WK IIIA, Normal Climate DIBt 2012, WZ 2, GK II“
Dokument Nr.: D0865130-2a, Rev. 2a, Datum: 03.08.2020

[1.2.13] TÜV NORD CERT GmbH:

„Evaluation Report Wind Turbine E-138 EP3 and E-138 EP3 E2, several configurations - Tower Top Flange -“
TÜV NORD Report Nr.: 8115 022 604-11 E II Rev.2, Datum: 24.08.2020

2 Prüfgrundlagen

[2.1] Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (Fassung 10.2012):

„Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“

[2.2] DIN EN 1993-1-1 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-1/NA (08.2015):

„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“

[2.3] DIN EN 1993-1-9 (12.2010) mit DIN EN 1993-1-9/NA (12.2010):

„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung“

[2.4] DIN EN 1993-1-10:2010-12 + DIN EN 1993-1-10/NA:2016-04:

„Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung“

- [2.5] VDI 2230 Blatt 1 (11.2015):
„Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen“

3 Einleitung

Gegenstand dieser Stellungnahme ist die Prüfung der Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich struktureller Integrität im Sinne von [2.1] für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen.

Außerdem werden die technische Richtigkeit der durchgeführten Berechnungen, die daraus abgeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch und deren Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

Mit der Revision 1 der gutachtlichen Stellungnahme wird die angepasste Seriengeometrie des Kopfflansches ([1.1.4], Rev. 4), der Lastvergleich in [1.1.2] sowie die statischen Berechnungen ([1.1.3]) für die alternative Flanschgeometrie geprüft. Zusätzlich werden redaktionelle Änderungen vorgenommen um die Schnittstelle bezüglich Lastannahmen für die Typenprüfung herauszustellen. Dazu verweist Tabelle 4.1 auf die betrachteten Turmkonfigurationen und eine Schnittstelle ist in Kapitel 5 ergänzt.

4 Beschreibung

4.1 Turmkopfflansch

Die Kopfflanschgeometrie des Seriendesigns und der Alternative ist nahezu identisch. Der Turmkopfflansch ist ein L-Flansch mit einem Innendurchmesser von 3148 mm an der anschließenden Turmwand und einem Außendurchmesser von 3557 mm. Die Gesamthöhe beträgt 281 mm. Der Flansch wird mit dem Azimutlager mittels 128 Schrauben M36 (Seriendesign) beziehungsweise 128 Schrauben M39 (Alternative) verbunden. Die Verbindung zwischen dem Azimutlager und dem Maschinenträger wird durch 134 Schrauben M33 hergestellt. Lastannahmen

Die Turmkopfflanschbaugruppe (initiale Flanschgeometrie gemäß [1.1.4], Rev. 1) wurde für einige in Tabelle 4.1 aufgeführten Konfigurationen nachgewiesen, siehe [1.1.1]. Die verwendeten Auslegungslasten ([1.2.1]) sind eine Zusammenstellung der relevanten einhüllenden Lasten aus [1.2.2] für maschinenbauliche Komponenten.

Die Lastannahmen in [1.2.1] sind durch die Lastannahmen der Anlage E-138 EP3 E2 ([1.2.4]) abgedeckt. Diese abdeckenden Lasten werden in der statischen Berechnung des angepassten Seriendesigns ([1.2.12]), die in [1.2.13] geprüft ist, berücksichtigt. Somit ist das angepasste Seriendesign implizit für die Lastkonfigurationen gemäß [1.2.1] beziehungsweise [1.2.2] in Tabelle 4.1 nachgewiesen.

Das alternative Kopfflanschdesign wird in [1.1.3] für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Konfigurationen unter Verwendung der Auslegungslasten in [1.2.3] nachgewiesen. Der Lastvergleich in [1.1.2] stellt die Auslegungslasten des alternativen Designs ([1.2.3]) den maßgebenden Lasten des modifizierten Seriendesigns ([1.2.4]) gegenüber. Somit ist das Seriendesign implizit für alle Konfigurationen gemäß Tabelle 4.1 nachgewiesen.

Die Ermüdungslasten basieren auf einer Lebensdauer von 25 Jahren.

Die Windenergieanlage erbringt eine maximale Leistung von 4200 kW und verwendet das Rotorblatt E-115 EP3-RB-03.

Nr.	WEA Bezeichnung	Nabenhöhe	Turmkonfiguration	Windzone (DIBt 2012)	Geländekategorie	Lastenspezifiziert in
1	E-115 EP3 E3	92 m	E-115 EP3 E3-ST-92-FB-C-01	4	I & II	[1.2.1], [1.2.3]
2		122 m	E-115 EP3 E3-HST-122-FB-C-01	3		[1.2.3]
3		135 m	E-115 EP3 E3-HT-135-ES-C-PA	3		[1.2.1], [1.2.3]
4		149 m	E-115 EP3 E3-HST-149-ES-C-01	3		[1.2.3]

Tabelle 4.1: Lastannahmen für Seriendesign und Alternative

4.2 Baustoffe

Flansch

Kopfflansch: Stahl DIN EN 10025-3-S355N (nahtlos geschmiedet) oder
 Stahl DIN EN 10025-3-S355NL + DIN EN 10164-Z25
 (abbrennstumpfstoßgeschweißt)

Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager (Seriendesign)

Schrauben: DIN 976-1 – M36 x 355 – 10.9 tZn
 maximale Vorspannkraft $F_{M,max} = 581,4$ kN
 (Drehmomentverfahren)
 Anziehungsfaktor $\alpha_A = 1,5$

Scheiben: ISO 7089 - 36 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M36 - 10 tZn

Schraubverbindung zwischen Kopfflansch und Azimutlager (Alternative)

Schrauben: DIN 976-1 – M39 x 355 – 10.9 tZn
 maximale Vorspannkraft $F_{M,max} = 800,0$ kN
 (hydraulisches Spannverfahren)
 Anziehungsfaktor $\alpha_A = 1,2$

Scheiben: ISO 7089 - 39 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M39 - 10 tZn

Schraubverbindung zwischen Azimutlager und Maschinenträger

Schrauben: DIN 976-1 - M33 x 380 - 10.9 tZn
maximale Vorspannkraft $F_{M,max} = 635,8$ kN
(Drehwinkelverfahren)
Anziehungsfaktor $\alpha_A = 1,0$

Scheiben: ISO 7089 - 33 - 300 HV tZn

Muttern: ISO 4032 - M33 - 10 tZn

5 Prüfung

5.1 Umfang und Methodik

Die Standsicherheitsnachweise (Grenzzustand der Tragfähigkeit) wurden in den eingereichten statischen Berechnungen ([1.1.1] und [1.1.3]) für die Kopfflanschbaugruppe geführt und durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Standsicherheitsnachweise für die aktualisierte Flanschgeometrie ([1.1.4], Rev. 4) werden mit einer Lasteinhüllenden ([1.2.4]), die in [1.2.13] geprüft ist, geführt. Die verwendete Lasteinhüllende beinhaltet die Auslegungslasten der Windenergieanlage E-115 EP3 E2 gemäß [1.2.1]. In Bezug auf die Lastschleife „LS8+ Japan“ wird der Lastvergleichs in [1.1.2] genutzt. Die neuen Lasten, die in [1.2.3] definiert sind, werden mit den maßgebenden Auslegungslasten der Windenergieanlage E-138 EP3 E2 ([1.2.4]) verglichen. Diese Auslegungslasten werden in den statischen Berechnungen in [1.2.12] berücksichtigt und sind in [1.2.13] geprüft. Der Flansch und die Schrauben zweier Verbindungen – Flansch mit Azimutlager und Azimutlager mit Maschinenträger – werden als eine Baugruppe betrachtet. Des Weiteren werden die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch (Radien und Schweißnaht zur Turmschale) auf ihre Richtigkeit und Anwendbarkeit in zukünftigen Nachweisen geprüft.

5.2 Anmerkungen zur Prüfung

Für die Bemessung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIBt:2012 ([2.1]) berücksichtigt.

Der Materialteilsicherheitsbeiwert für die Ermüdung der Schweißverbindungen wurde mit $\gamma_{Mf} = 1,15$ angesetzt, für die Schraubverbindung $\gamma_{Mf} = 1,265$.

Für den Nachweis des Turmkopfflansches wurden von ENERCON GmbH in [1.1.1] und [1.1.3] Übertragungsfunktionen hergeleitet. Der zugrunde liegende Aufbau des Turmkopfes kann [1.1.4], [1.2.5] und [1.2.6] (Seriendesign) beziehungsweise [1.1.5], [1.2.8] und

[1.2.9] (Alternative) entnommen werden. Das in [1.2.7] gezeigte Azimutlager ist eine Alternative zu [1.2.5] für das Seriendesign. Für die Vergleichsrechnung wurde eine minimale Schraubenvorspannkraft $F_{v,min} = 387,6$ kN (Seriendesign) beziehungsweise 507,3 kN (Alternative) für die Verbindung von Turmkopf und Azimutlager sowie $F_{v,min} = 445,1$ kN für die Verbindung des Lagers mit dem Maschinenträger angesetzt.

Der Sprödbruchnachweis gemäß DIN EN 1993-1-10 wird in [1.2.10] für die Windenergieanlage E-126 geführt und ist in [1.2.11] geprüft. Aufgrund der effektiven Flanschhalslänge und der gleichen Flanschgeometrie ist der Nachweis ebenfalls für die Anlage E-115 EP3 E3 gültig.

Die unter 1.1 aufgeführten Unterlagen sind mit einem TÜV NORD Stempel versehen.

5.3 Ergebnis

Die aktualisierte Seriengeometrie des Kopfflansches ([1.1.4], Rev. 4) ist für alle Konfigurationen in Tabelle 4.1 anwendbar.

Der Lastvergleich in [1.1.3] zeigt keine Lastüberschreitungen.

5.4 Schnittstelle

Turm

5.4.1 Die Auslegungslasten des Turms müssen kleiner oder gleich den Lastannahmen zum Turm sein, die in [1.2.2] beziehungsweise [1.2.3] zitiert werden.

6 Auflagen

6.1 Das für den Flansch verwendete Material soll eine minimale Streckgrenze $R_{eH} = 265$ MPa aufweisen. Die Verwendung eines Flansches, der abbrennstumpfstoßgeschweißt wurde, ist an Standorten mit tiefen Temperaturen ($\leq -40^\circ\text{C}$) nicht erlaubt.

6.2 Die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können in zukünftigen Nachweisen genutzt werden, wenn die Belastungen die zugrunde gelegten Lastannahmen nicht überschreiten und eine zylindrische Turmgeometrie mit dem Kopfflansch verbunden wird.

7 Zusammenfassung

Die geprüften Dokumente unter 1.1 sind vollständig und in statischer Hinsicht korrekt. Die statischen Berechnungen wurden durch Vergleichsrechnung geprüft.

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Schnittstellen und Auflagen ist die geprüfte Turmkopfflanschbaugruppe hinsichtlich des Grenzzustandes der Tragfähigkeit

für die in Tabelle 4.1 aufgeführten Lastkonfigurationen geeignet. Die in [1.1.1] hergeleiteten Übertragungsfunktionen für den Turmkopfflansch können zukünftigen Nachweisen zugrunde gelegt werden, wenn Auflage 6.2 erfüllt ist.

Diese gutachtliche Stellungnahme verliert ihre Gültigkeit mit konstruktiven Änderungen der Turmflanschkonstruktion.

Prüfer:

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

Dr.-Ing. C. Fischer

Freigegeben:

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

Dr.-Ing. T. Rutkowski