Fundamentdatenblatt / *Foundation datasheet*

Enercon AT 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 AT_E21

E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Tiefgründung / *Deep foundation*

Projektnummer / *Project number*:	21683-E21
Anlagenhersteller / *Turbine manufacturer*:	Enercon GmbH Dreekamp 5 DE-26605 Aurich
Windenergieanlage / *Wind turbine*:	Enercon E-160 EP5
Nabenhöhe / *Hub height*:	166,6 m
Bauteil / *Component*:	Tiefgründung / *Deep foundation*
Land / *Country:*	Österreich / *Austria*
Verfasser / *Author*:	Max Bögl Wind AG Max-Bögl-Str. 1 DE-92369 Sengenthal
Enercon Dokumentennr./ *Enercon document no.:*	D02567177-0
Datum / *Date*:	20.01.2022
Revision / *Revision*:	-

Änderungsverzeichnis / *Table of revision*

Revision / *Revision*	**Datum / *Date***	**Beschreibung / *Description***	**Bearbeiter / *Author***
-	20.01.2022	Erstausgabe / *First release*	C. von Oesen

Datum / *Date*: 20.01.2022

Aufgestellt / *Prepared by*: i.A. Christoph von Oesen

Geprüft / *Checked by:* i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira

Geprüft und freigegeben / *Checked and approved by*: i.A. Thorsten Betz

Inhaltsverzeichnis / *Table of contents*

Änderungsverzeichnis / *Table of revision* **1**

Inhaltsverzeichnis / *Table of contents* **2**

1 Allgemeines / *General* **3**

2 Geometrie, Material und Massen / *Geometry, material and dimensions* **4**

3 Belastung / Loading **6**

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

3.2 Turmlasten / *Tower loads* 7

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

3.2.2 GZT und GZG / *ULS and SLS* 8

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

5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses **10**

5.1 Allgemeines / *General remarks* 10

5.2 Variante A: Fertigteil- oder Ortbetonrammpfähle / *Variant A: pre-cast driven or cast in situ concrete piles* 11

5.3 Variante B: Ortbetonrammpfähle / *Variant B: Rammed in-situ concrete piles* 12

5.4 Variante C: Bohrpfähle / *Variant C: Bored piles* 13

5.5 Bemessungswert der Pfahlschnittgrößen / Pile stress resultant design value 14

1 Allgemeines / *General*

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

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

Turm / *Tower*

Beschreibung / *Description*

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

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

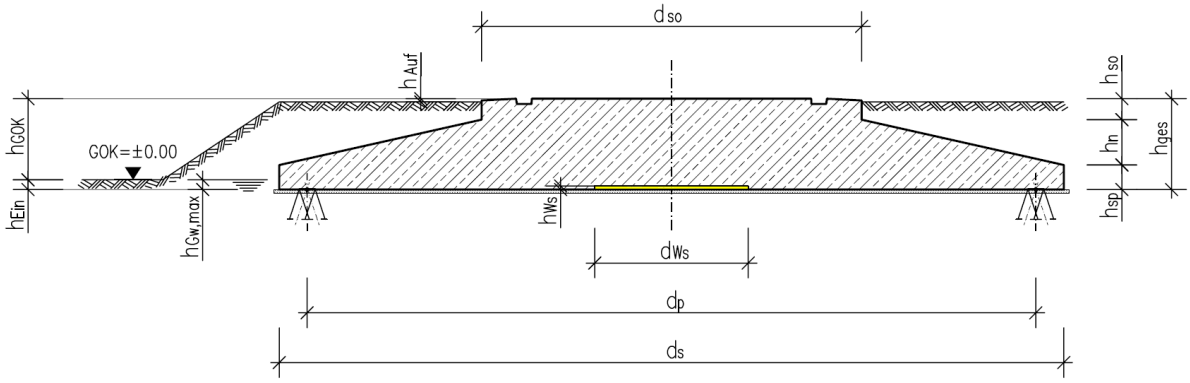
The tower geometry is defined in the following Max Bögl drawing:

AT_E21_001_XX_X_Uebersicht

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

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

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



Geometrie / *Geometry*

Betonkörper / *Concrete body*

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

Material und Massen / *Material and dimensions*

Beton / *Concrete*

Gesamtvolumen / *Total volume*	V_c	=	805,0	m³
Volumen Sockelbereich / *Volumen base area*	V_{BG1}	=	53,0	m³
Betongüte Sockelbereich / *Concrete strength base area*			C40/50	
Volumen Platenbereich / *Volumen plate area*	V_{BG2}	=	752,0	m³
Betongüte Plattenbereich / *Concrete strength plate area*			C30/37	

Betonstahl / *Reinforcement steel*

Betonstahlgüte / *Reinforcement strength*	B 550B	
Bewehrungsgehalt / *Reinforcement ratio*	159,0	kg/m³
Bewehrungstonnage / *Reinforcement weight*	129,0	t

Pfähle / Piles			
Var. A1	54 Fertigteilrammpfähle nach innen und außen geneigt / *54 pre-cast driven piles inclined inwards and outwards*	a/b	45/45 cm
Var. A2	54 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt / *54 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards*	Ø	51 cm
Var. B	44 Ortbetonrammpfähle nach innen und außen geneigt / *44 rammed in-situ concrete piles inclined inwards and outwards*	Ø	56 cm
Var. C	22 Bohrpfähle vertikal / *22 bored piles vertical*	Ø	88 cm

3 Belastung / Loading

Die folgenden Lasten wurden in der Fundamentbemessung angesetzt.

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

The followings loads were applied in the foundation design.

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

Enercon GmbH:
Load report, Tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Covering fatigue and ultimate loads for the tower E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 of the WEC E-160 EP5 E3 with the rotor blade LM783P_2P as per DIBt. Document-ID: D02406103-0.0. Rev. 0.0, 2021-06-24.

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

Betonvolumen / Concrete weight

Betonwichte / *Concrete specific weight*	γ_c	=	25,0	kN/m³
Betongewicht / *Concrete weight*	G_c	=	20 175	kN

Überschüttung / *Backfill*

Höhe Erdüberschüttung innen / *Inner thickness backfill*	$t_{MaxÜs,inn}$	=	0,500	m
Höhe Erdüberschüttung außen / *Outer thickness backfill*	$t_{MaxÜs,aus}$	=	1,400	m
Bodenwichte / *Soil specific weight*	$\gamma_{Üs}$	=	18,0	kN/m³
Gewicht Erdüberschüttung / *Soil cover weight*	$G_{MaxÜs}$	=	5 820	kN

Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / *Buoyancy height*	$h_{Gw,max}$	=	0,501	m
Auftriebskraft / *Buoyancy force*	$G_{Gw,max}$	=	-2 082	kN

3.2 Turmlasten / *Tower loads*

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

Nachfolgend sind die Lasten für die bodenmechanischen Nachweise angegeben.

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

The loads for geotechnical verifications are specified below.

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

LF / *LC*	**BS-1**	**BS-2**	**BS-3**
V_k [kN]	38 205	38 205	38 205
H_k [kN]	1 611	822	1 475
$M_{b,k}$ [kNm]	164 311	115 980	217 140

Lasten an Fundamentunterkante ohne Erdüberschüttung und ohne Auftrieb / *Loads at the foundation bottom without soil cover and without buoyancy*

Legende / *Legend*:

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

3.2.2 GZT und GZG / *ULS and SLS*

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

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

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

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

LF / *LC*	**GZT / *ULS***	**D.3**
V_{Ed} [kN]	19 833	18 030
H_{Ed} [kN]	1 623	958
$M_{b,Ed}$ [kNm]	235 774	125 810
$M_{t,Ed}$ [kNm]	49	3 799
γ_E	1,10	1,00

Lasten an Fundamentoberkante / *Loads at the foundation top*

Legende / *Legend*:

- V_{Ed}: Normalkraft (vertikal) / *Normal force (vertical)*
- H_{Ed}: Querkraft (horizontal) / *Shear force (horizontal)*
- $M_{b,Ed}$: Biegemoment / *Bending moment*
- $M_{t,Ed}$: Torsionsmoment / *Torsional moment*
- γ_E: Sicherheitsfaktor / *Safety factor*

4 Anforderungen an den Baugrund / *Soil requirements*

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

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

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

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

Drehfedersteifigkeit und Wegfedersteifigkeit / *Rotation and translational spring stiffness*

Mindestwert / *Minimal value*

Statische Drehfeder / *Static rotational spring*	$k_{\varphi,stat}$	=	30 000	MNm/rad
Dynamische Drehfeder / *Dynamic rotational spring*	$k_{\varphi,dyn}$	=	300 000	MNm/rad
Dynamische Wegfeder / *Dynamic ranslational spring*	$kf_{,dyn}$	=	300	MN/m

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

Maximal zulässige Schiefstellung / *Maximal allowed out-of-vertical inclination*	Δs_{max}	=	3	mm/m

Baugrundaufbau / Subsoil structure

Tiefe ab Fundamentunterkante / *Depth starting at foundation bottom edge*	Var. A - C	
	Es,stat	Es,dyn
0 m – 1 m	0 MN/m²	0 MN/m²
1 m – 15 m	1 MN/m²	10 MN/m²
15 m – 20 m	30 MN/m²	144 MN/m²

5 Pfahlkräfte und -schnittgrößen / Pile loads and stresses

5.1 Allgemeines / *General remarks*

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

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

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

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

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

Pfahlkräfte Variante A / *Pile loads variant A*

Pfahldaten / *Pile data*

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

Charakteristische axiale Pfahllasten / *characteristic axial pile loads*

Lastfall/ *Load case*	**γ_F**	**F_{Gk} ohne Auftrieb/ *F_{Gk} without buoyancy***	**F_{Gk} mit Auftrieb/ *F_{Gk} with buoyancy***	**F_{Qk}**	**$\sum F_k$**
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,00 / 1,00	-832	-	-811	-1643
Zug / *Tension*	1,00 / 1,00	-	-793	800	7

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

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

Lastfall/ *Load case*	**γ_F**	**F_{Gd} ohne Auftrieb/ *F_{Gd} without buoyancy***	**F_{Gd} mit Auftrieb/ *F_{Gd} with buoyancy***	**F_{Qd}**	**$\sum F_d$**
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-1125	-	-914	-2040
Zug / *Tension*	1,35 / 0,90	-	-750	900	150

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_{Auftrieb}$=1,10) / *Loads include partial safety factors ($\gamma_{Buoyancy}$=1,10)*

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

Pfahlkräfte Variante B / *Pile loads variant B*

Pfahldaten / *Pile data*

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

Charakteristische axiale Pfahllasten / *characteristic axial pile loads*

Lastfall/ *Load case*	**γ_F**	**F_{Gk} ohne Auftrieb/ *F_{Gk} without buoyancy***	**F_{Gk} mit Auftrieb/ *F_{Gk} with buoyancy***	**F_{Qk}**	**$\sum F_k$**
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,00 / 1,00	-1018	-	-994	-2012
Zug / *Tension*	1,00 / 1,00	-	-970	981	11

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

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

Lastfall/ *Load case*	**γ_F**	**F_{Gd} ohne Auftrieb/ *F_{Gd} without buoyancy***	**F_{Gd} mit Auftrieb/ *F_{Gd} with buoyancy***	**F_{Qd}**	**$\sum F_d$**
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-1376	-	-1117	-2492
Zug / *Tension*	1,35 / 0,90	-	-917	1100	183

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_{Auftrieb}$=1,10) / *Loads include partial safety factors ($\gamma_{Buoyancy}$=1,10)*

5.4 Variante C: Bohrpfähle / *Variant C: Bored piles*

Pfahlkräfte Variante C / *Pile loads variant C*

Pfahldaten / *Pile data*

Querschnitt Durchmesser / *Cross section diameter*	d_p	=	88 cm
Anzahl / *Quantity*	n_p	=	22
Pfahllänge gemäß Statik / *Pile length according to structural report*	l_p	=	20,0 m
Anzahl vertikal / *Quantity vertical*	$n_{p,v}$	=	22

Charakteristische axiale Pfahllasten / *characteristic axial pile loads*

Lastfall/ *Load case*	**γ_F**	**F_{Gk} ohne Auftrieb/ *F_{Gk} without buoyancy***	**F_{Gk} mit Auftrieb/ *F_{Gk} with buoyancy***	**F_{Qk}**	**$\sum F_k$**
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,00 / 1,00	-1994	-	-1950	-3944
Zug / *Tension*	1,00 / 1,00	-	-1900	1925	23

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

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

Lastfall/ *Load case*	**γ_F**	**F_{Gd} ohne Auftrieb/ *F_{Gd} without buoyancy***	**F_{Gd} mit Auftrieb/ *F_{Gd} with buoyancy***	**F_{Qd}**	**$\sum F_d$**
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Druck / Compression	1,35 / 0,90	-2693	-	-2028	-4717
Zug / *Tension*	1,10 / 0,90	-	-1819	2117	298

Alle Lasten inkl. Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_{Auftrieb}$=1,10) / *Loads include partial safety factors ($\gamma_{Buoyancy}$=1,10)*

5.5 Bemessungswert der Pfahlschnittgrößen / Pile stress resultant design value

Die nachfolgend angegebenen Bemessungswerte der Pfahlschnittgrößen dürfen für eine Vorbemessung verwendet werden und sind mit den Bemessungswerten der Pfahlkräfte ungünstig zu kombinieren.

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

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

For a detail design of the piles the stress resultant values must be determined with an FE-Modell considering the site specific soil stiffness.

Pfahlschnittgrößen / Pile stress		**Var. A**	**Var. B**	**Var. C**
Horizontalkraft (Pfahloberkante) / *Horicontal force (pile top)*	H_d	44 kN	52 kN	90 kN
Einspannmoment in der Platte / *Fixed-end moment in plate*	M_d	124 kNm*	164 kNm*	394 kNm*
Max. Moment in Pfahlmitte / *Max. moment in centre of pile*	M_d	78 kNm*	102 kNm*	243 kNm*
*in Abhängkeit von der anstehenden Bettung / **depending on soil stiffness*				